

# **PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIÓN**

**INFORME FINAL CASO DE ESTUDIO PARA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL**

**TEMA:**

**“DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA WIMAX  
PARA PROVEER SERVICIO DE INTERNET EN LA ZONA URBANA DE LA  
CIUDAD DE LATACUNGA”**

**OSCAR WASHINGTON CHACÓN GALARZA**

Quito-2017

# AUTORÍA

Yo, ***OSCAR WASHINGTON CHACÓN GALARZA***, portador de la cédula de ciudadanía No. ***0501716955***, declaro bajo juramento que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y que se ha respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes. Esta investigación no contiene plagio alguno y es resultado de un trabajo serio desarrollado en su totalidad por mi persona.

---

***OSCAR WASHINGTON CHACÓN GALARZA***

## CONTENIDO

AUTORÍA.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. ANTECEDENTES.....	11
3. JUSTIFICACIÓN.....	12
4.OBJETIVOS.....	13
4.1. Objetivo General.....	13
4.2. Objetivos Específicos.....	13
5. DESARROLLO DEL CASO DE ESTUDIO.....	13
5.1. MARCO TEÓRICO.....	13
5.1.1. Definición WiMAX.....	13
5.1.2. Comparación entre WiMAX y Wi-Fi.....	14
5.1.3. Componentes de la red WiMAX.....	15
5.1.4. Funcionamiento de WiMAX.....	16
5.1.5. Topología de red.....	18
5.1.5.1. Topología Punto Punto.....	18
5.1.5.2. Topología Punto Multipunto.....	18
5.1.5.3. Redes Malladas (Mesh).....	21
5.1.6. Estándares 806.12.....	23
5.1.7. Características de WiMAX.....	26
5.2. ESTUDIO DE DEMANDA.....	28
5.2.1. Método Estadístico.....	28
5.2.2. Método de Encuestas.....	28
5.2.3. Recopilación de Información.....	29
5.2.3.1. Tamaño de la muestra.....	29

5.2.3.2. Encuesta Realizada.....	32
5.2.3.3. Análisis de Resultados de la Encuesta.....	34
5.2.3.4. Estimación de Demanda de Clientes.....	39
5.3. DISEÑO DE LA RED.....	43
5.3.1. Determinación del Área de cobertura.....	43
5.3.2. Análisis topográfico.....	45
5.3.3. Ubicación de Nodos.....	46
5.3.4. Selección de Equipos.....	46
5.3.4.1. Equipamiento de la Red de Acceso.....	47
5.3.4.2. Equipamiento para el suscriptor o CPE.....	49
5.3.4.3. Equipamiento para los enlaces Backhaul.....	53
5.3.5. Enlaces Backhaul.....	53
5.3.5.1. Enlace Troncal Radio Base1.....	55
5.3.5.2. Enlace Troncal Radio Base2.....	57
5.3.6. Área de Cobertura de la red de Acceso.....	59
5.3.7. Diseño Final de la Red.....	65
5.3.7.1. Selección de Equipos de Red.....	66
5.3.7.2. Equipamiento Final.....	70
5.3.8. Ancho de banda requerido para el servicio de internet.....	71
5.3.9. Requerimientos legales.....	73
5.4. ANÁLISIS DE COSTOS.....	74
5.4.1. Inversión Inicial.....	74
5.4.2. Cotos de Inmobiliario.....	75
5.4.3. Costo de título habilitante para acceso a internet.....	76

5.4.4. Costos de Operación.....	77
5.4.5. Ingresos por planes de servicio.....	77
5.4.6. Ingresos Anuales.....	78
5.4.7. Flujo Neto de efectivo.....	80
5.4.8. Cálculo del VAN, TIR, (B/C) y PRI.....	80
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
6.1. CONCLUSIONES.....	86
6.2. RECOMENDACIONES.....	87
Bibliografía.....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Componentes de una red WiMAX.....	16
<b>Figura 2.</b> Enlace punto a punto.....	18
<b>Figura 3.</b> Enlace punto multipunto.....	20
<b>Figura 4.</b> Enlaces Punto-Punto y Punto Multipunto.....	21
<b>Figura 5.</b> Topología Malla.....	21
<b>Figura 6.</b> Red Mallada (Red Mesh).....	22
<b>Figura 7.</b> Cuenta con servicio de internet?.....	34
<b>Figura 8.</b> Considera a internet como una necesidad?.....	34
<b>Figura 9.</b> Acceso a Internet.....	35
<b>Figura 10.</b> Proveedores de internet.....	35
<b>Figura 11.</b> Calificación proveedor de servicio .....	36
<b>Figura 12.</b> Precio que paga mensual.....	36
<b>Figura 13.</b> Conocimiento de acceso inalámbrico a internet.....	37
<b>Figura 14.</b> Interesados en adquirir el servicio inalámbrico.....	37
<b>Figura 15.</b> Precio que podrían pagar por el servicio.....	38
<b>Figura 16.</b> Opciones para velocidad en internet.....	38
<b>Figura 17.</b> Importancia en parámetros.....	39
<b>Figura 18 .</b> Cuentas de internet fijo por cada 100 habitantes.....	41
<b>Figura 19.</b> Área de cobertura.....	44
<b>Figura 20.</b> Ubicación de Radio Bases y Nodo Principal.....	45
<b>Figura 21.</b> MicroMAXd.....	48
<b>Figura 22.</b> SDA-4.....	48
<b>Figura 23.</b> Terminal suscriptora ProST.....	50

<b>Figura 24.</b> Estación Suscriptora EasyST.....	50
<b>Figura 25.</b> Estación suscriptora MiMAX USB.....	51
<b>Figura 26.</b> Router Wi-Fi TPLINK.....	51
<b>Figura 27.</b> Instalación de la estación base MicroMAXd con SDAs.....	52
<b>Figura 28.</b> Equipo Flexnet ASN-900.....	53
<b>Figura 29.</b> Ubicación del Radio Enlace Troncal-RB1 en Google Earth.....	55
<b>Figura 30.</b> Enlace Troncal-Radio Base 1.....	56
<b>Figura 31.</b> Ubicación del Radio Enlace Troncal-RB2 en Google Earth.....	57
<b>Figura 32.</b> Enlace Troncal-Radio Base 2.....	58
<b>Figura 33.</b> Enlace Radio Base1- Cliente1.....	60
<b>Figura 34.</b> Radio Base 1 cliente 2.....	60
<b>Figura 35.</b> Radio Base 1 Cliente 4.....	61
<b>Figura 36.</b> Radio Base1-Cliente 6.....	61
<b>Figura 37.</b> Radio Base1- Cliente 7.....	62
<b>Figura 38.</b> Radio Base 2 –Cliente 3.....	62
<b>Figura 39.</b> Radio Base2- Cliente 5.....	63
<b>Figura 40.</b> Radio Base2- Cliente 8.....	63
<b>Figura 41.</b> Enlaces clientes.....	64
<b>Figura 42.</b> Área objetivo cubierta.....	65
<b>Figura 43.</b> Diagrama General de Bloques de la Red.....	66
<b>Figura 44.</b> Router Mikrotik CCR1036-12G-4S-EM .....	68
<b>Figura 45.</b> Switch Mikrotik 260G-s.....	68
<b>Figura 46.</b> Servidor HP ProLiant DL160 Server Basic SAS.....	69
<b>Figura 47.</b> Diagrama funcional de Nodo Principal.....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Diferencias entre WiMAX y Wi-Fi.....	15
<b>Tabla 2.</b> Estándares 802.16.....	23
<b>Tabla 3.</b> Características de WiMAX.....	26
<b>Tabla 4.</b> Valor de Z.....	30
<b>Tabla 5.</b> Proyección de la población de la ciudad de Latacunga.....	31
<b>Tabla 6.</b> Cuentas de internet fijo en Ecuador .....	41
<b>Tabla 7.</b> Cuentas por cada 100 habitantes.....	42
<b>Tabla 8.</b> Crecimiento de usuarios.....	43
<b>Tabla 9.</b> Ubicación de nodos.....	46
<b>Tabla 10.</b> Fabricantes de equipos WiMAX.....	47
<b>Tabla 11.</b> Especificaciones técnicas de la Estación Base MicroMAXd.....	49
<b>Tabla 12.</b> Especificaciones técnicas de ProST y Easy Prost.....	52
<b>Tabla 13.</b> Características de los equipos Backhaul.....	53
<b>Tabla 14.</b> Ubicación de nodos.....	54
<b>Tabla 15.</b> Parámetros de equipo para el ingreso a Radio Mobile .....	55
<b>Tabla 16.</b> Especificaciones técnicas de Cliente/Radio Base.....	59
<b>Tabla 17.</b> Coordenadas de los clientes de borde .....	59
<b>Tabla 18.</b> Equipos para enrutamiento principal.....	67
<b>Tabla 19.</b> Inversión Inicial en equipos.....	75
<b>Tabla 20.</b> Mobiliario de Oficina.....	76
<b>Tabla 21.</b> Costos de Operación.....	77
<b>Tabla 22.</b> Valor total de inversión.....	77



<b>Tabla 23.</b> Ingresos planes de usuario.....	78
<b>Tabla 24.</b> Ingresos por planes año1.....	78
<b>Tabla 25.</b> Ingresos por planes año 2.....	79
<b>Tabla 26.</b> Ingresos por planes año 3.....	79
<b>Tabla 27.</b> Ingresos por planes año 4.....	79
<b>Tabla 28.</b> Ingresos por planes año 5.....	80
<b>Tabla 29.</b> Flujo neto de efectivo.....	80
<b>Tabla 30.</b> Flujo de efectivo.....	85

## 1. INTRODUCCIÓN

En este caso de estudio se desarrollará una red basada en la tecnología WiMAX para la zona urbana del Cantón Latacunga Provincia de Cotopaxi. Este proyecto tiene como objetivo diseñar y planificar una red WiMAX para proveer servicio de internet de banda ancha a la zona urbana de Latacunga.

La red estará conformada por un nodo principal y dos nodos secundarios, los cuales se ubican de tal manera que se pueda dar cobertura a la zona objetivo, asegurando de esta manera que cada suscriptor tenga acceso a una radio base con lo que se garantiza el servicio de internet de banda ancha.

Para iniciar se plantea el marco teórico donde se dan las definiciones de la tecnología WiMAX con su estándar IEEE 802.16, se realiza una comparación con la tecnología Wi-Fi, se estudia sus componentes que en general son la Radio Base y los suscriptores, y, finalmente se analiza su funcionamiento.

A continuación se realiza un estudio estadístico de mercado en donde se aplica una encuesta para conocer las preferencias y expectativas de los posibles clientes, posteriormente se analizan los resultados con los que se obtienen datos como la demanda, con la que se puede empezar el diseño del proyecto.

En el siguiente capítulo se realiza el diseño, se inicia delimitando la zona de cobertura, se efectúa un análisis topográfico y se ubican las radio bases, se seleccionan los equipos a emplear, posteriormente se realiza el cálculo de los radio enlaces y áreas de cobertura con la ayuda de la herramienta Radio Mobile, con lo que finalmente se obtiene el diseño.

Por último se efectúa un análisis de costos para determinar la factibilidad económica del proyecto, para esto se utilizarán los indicadores VAN, TIR, (B/C) y PRI.

## 2. ANTECEDENTES

La constante evolución y mejora de los servicios ha llevado a varias organizaciones, empresas y profesionales a nivel mundial a realizar estudios sobre las diferentes tecnologías de telecomunicaciones basadas en medios guiados y no guiados, una de estas organizaciones sin fines de lucro es WiMAX Forum, fue establecida con el objetivo de impulsar y certificar la interoperabilidad de los equipos inalámbricos de banda ancha, que respondan a los estándares IEEE 802.16. El objetivo de WiMAX Forum es apresurar las instalaciones a nivel mundial y propagar el mercado del acceso inalámbrico de banda ancha interoperable, WIMAX proviene de “Worldwide Interoperability for Microwave Access” que traducido al español significa “Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microonda”. [1]

Esta tecnología es la base de las redes metropolitanas de acceso a internet, este estándar permite conexiones de velocidades similares a ADSL y a distancias de 50-60 Km. [32]

El acceso a la información y el conocimiento representa un factor importante en el desarrollo del país, el internet es una herramienta inagotable de conocimientos que ha logrado reemplazar a los libros y bibliotecas, por eso es importante la implementación de un sistema de comunicaciones que puedan hacer uso la mayor parte de la población con costos módicos y brindando mayor cobertura.

La adaptación y aplicación de las nuevas tecnologías de acuerdo a las tendencias mundiales es prioritario para optimizar el uso de los recursos naturales limitados del Estado, como es el espectro radio eléctrico.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La rapidez con la que avanza la tecnología deja siempre a la expectativa de lo que sucederá en un futuro, es por eso que se ve la necesidad de adaptarse a estos avances tratando de aprovechar los recursos existentes.

En este trabajo se diseña una red que preste servicio a zonas donde las redes se encuentran saturadas o no llegan las redes cableadas como el cobre o la fibra óptica, ya sea por tener que implementar redes costosas o la dificultad de acceso, pues Latacunga está dividida en la parte central que tiene gran densidad demográfica y los sectores inmediatamente aledaños que no tiene la misma densidad pero que también necesitan ser atendidos.

Es por esto que se presenta un despliegue desigual en infraestructura de telecomunicaciones en la ciudad de Latacunga, por lo que se ha dado una atención escasa o nula al servicio de banda ancha de alta velocidad.

El servicio de internet ya no es un lujo sino una necesidad básica como lo considera la mayoría de la población Latacungueña, este servicio permite elevar el nivel de vida y de productividad, además es una herramienta útil y eficaz de la cual pueden sacar el mejor provecho posible y mantenerse actualizados con los avances tecnológicos y de la sociedad en general, es por esto que se ha desarrollado este proyecto con el fin de satisfacer las necesidades de un servicio de banda ancha de la población.

Al final de este trabajo se pretende diseñar una red de acceso basada en WiMAX estándar IEEE 802.16 para la zona urbana de la ciudad de Latacunga, ya que en su parte céntrica existe mucha población y en la periferia la densidad de la población es menor y no está atendida al 100 % a pesar de pertenecer al área urbana.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una red inalámbrica WiMAX que preste servicio a toda el área urbana de la ciudad de Latacunga.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Conocer el funcionamiento de la tecnología WiMAX IEEE 802.16 y cómo implementarla.
- Efectuar un estudio de mercado para definir los requerimientos de los posibles clientes de la red
- Realizar el reconocimiento del área de cobertura y definir los sitios desde donde se desplegará la red de acceso.
- Ejecutar el diseño de la red definiendo los equipos a utilizarse.
- Realizar un análisis de costos de la red.

## **5. DESARROLLO DEL CASO DE ESTUDIO**

### **5.1. MARCO TEÓRICO**

#### **5.1.1. Definición de WiMAX**

WiMAX son las siglas en ingles de 'Worldwide Interoperability for Microwave Access', y es la que certifica que un equipo cumple con los estándares 'IEEE 802.16'. Estos estándares manejan velocidades de transmisión similares al ADSL y distancias de 50-60 Km, WiMAX es compatible con Wi-Fi.

Una serie de características que tiene WiMAX favorecen su implementación, entre estas se tienen: costos de implementación relativamente bajos, velocidades de transmisión que pueden alcanzar los 75Mbps, para su operación no necesita de línea de vista, tiene gran alcance, brinda servicios de VoIP e IPTV, de acuerdo de las características del enlace una estación base puede dar servicio a miles de usuarios.

WiMAX fue creada como una tecnología de última milla y puede ser usada en enlaces MAN o WAN, sobre WiMAX se puede transportar IP, T1/E1, TDM, ATM y voz, por su capacidad para trabajar como portadora, por esta característica es empleada en redes corporativas de voz y datos, de igual manera en operadores de telecomunicaciones. [2]

### **5.1.2 .Comparación entre WiMAX y Wi-Fi**

WiMAX y Wi-Fi no son competencia, al contrario, son un complemento, ya que WiMAX mejora las características de Wi-Fi

El estándar 802.11 se desarrolló como alternativa al cableado de las redes LAN y ofrecía conexión ethernet inalámbrica

Wi-Fi se creó para garantizar la interoperabilidad entre equipos de diferentes fabricantes que operen con el estándar 802.11.

Wi-Fi fue creada para operar en interiores para redes locales (LAN), sin línea de vista (NLOS, Non Line Of Sight) y con un alcance de pocos metros, a pesar de estas características, esta tecnología fue explotada por muchos proveedores de Internet (ISP) y utilizada como solución de última milla, en consecuencia los servicios en estas redes eran limitados.

WiMAX está basado en el estándar 802.16. Este estándar fue desarrollado como una solución de última milla. En el desarrollo del diseño surge la necesidad de crear varios protocolos de servicio.

Una conexión WiMAX soporta servicios paquetizados como IP y voz sobre IP (VoIP), así como también servicios conmutados, E1/T1 y voz.

WiMAX puede brindar diversos niveles de servicio (MIR (Maximum Information Rate)/CIR (Committed Information Rate)) de esta manera se puede ofrecer al suscriptor diferentes velocidades de datos acorde a su contrato.

Una conexión física de WiMAX puede proveer diversos canales de servicio. Lo cual permite que varios usuarios estén conectados a un mismo radio CPE (Customer Premise Equipment), cada uno con una conexión privada y al nivel de servicio solicitado por el suscriptor. Esta característica permite tener en un mismo edificio varios usuarios.

WiMAX emplea la tecnología de transmisión OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), para operar en localidades en donde no existe línea de vista (N-LOS) a varios kilómetros de distancias. Estas características son imprescindibles para un negocio que preste el servicio inalámbrico de última milla.

WiMAX y Wi-Fi son soluciones complementarias para dos aplicaciones diferentes, WiMAX fue diseñado para redes metropolitanas y Wi-Fi fue diseñada para redes locales. [2]

En la tabla 1 se observan las diferencias entre WiMAX y Wi-Fi.

**Tabla1.** Diferencias entre WiMAX y Wi-Fi [3]

Característica	Wi-Fi	WiMAX
Estándar	IEEE 802.11	IEEE 802.16
Espectro	sin licencia	con y sin licencia
Alcance	300 m	Entre 50 y 60 Km (NLOS)
Velocidad	11 - 54 Mbit/s	75 Mbit/s
Half/Full Duplex	Half	Full
Ancho de banda de canal	25 MHz	1.25 a 20 MHz
Modulación	BPSK, QPSK, 16-, 64-QAM	BPSK, QPSK, 16-, 64-, 256-QAM
Frecuencias	2 a 11 GHz	2-11 GHz, 2.4 y 5 GHz
Movilidad	En desarrollo	802.16 e

### 5.1.3. Componentes de una red WiMAX

Las redes 802.16 están formadas esencialmente por dos clases de elementos:

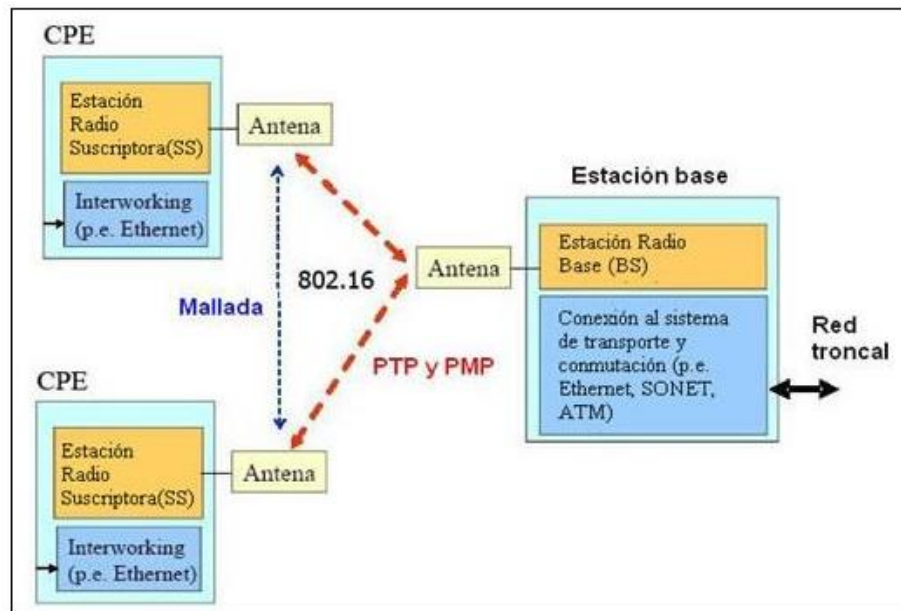
- El equipo de usuario o CPE (Customer Premises Equipment), reúne funciones de las SS (Subscriber Station) identificadas en la operación de las redes Broadband Wireless Access (BWA). Este equipo se conecta vía radio con la estación base (BS).

Los CPE son los receptores, que pueden ser las tarjetas que se conectan al PC, portátil y PDA.

- La estación base o BS (Base Station), se conecta con las SS, también provee los mecanismos de control y gestión de los equipos SS.

Estos equipos son las torres WiMAX, los que tienen un alcance de 8.000 Km<sup>2</sup> acorde al tipo de señal transmitida.

En la figura 1 se observan los dos elementos así como las diferentes configuraciones de conectividad entre ellos. El funcionamiento de una red WiMAX es similar a las redes celulares, en estas redes se instalan torres en diferentes puntos y sobre estas se ubican las estaciones base (BS). Las BS emplean la configuración punto-multipunto (PMP, Point to Multipoint) o punto-punto (PTP, Point to Point) para conectarse a los equipos de los clientes. También se pueden conectar entre las estaciones cliente con una configuración mallada.[4]



**Figura 1.** Componentes de una red WiMAX [4]

#### 5.1.4. Funcionamiento de WiMAX

En el lado del operador de comunicaciones está instalada la estación base, en esta estación se ubican una o varias antenas con las que se retransmite la señal. El lugar en donde se instalan las antenas es una torre que puede ser un edificio.

Las antenas pueden ser de dos tipos, omnidireccionales o sectoriales, las sectoriales abarcan una área de cobertura específica, entre estas se tienen las antenas de panel que son utilizadas para las conexiones punto a punto, se utilizan cuando se quiere cubrir largas distancias y una tasa de transferencia alta.

En el otro lado de la conexión, está el usuario final, que puede ser residencial o corporativo, en este extremo está instalado el CPE (Customer Premises Equipment, Equipo Local de Cliente), en donde llega la señal transmitida por el operador. CPE es un pequeño dispositivo equipado con una antena, se ubica en el interior o exterior del edificio y se conecta a la estación base, este equipo también puede ser una tarjeta para PC o un módulo USB, es posible, incluso, encontrar portátiles que lo lleva integrado en su circuitería. [4]



Para conectar la estación base y el CPE, existen dos formas:

Cuando no hay obstáculo entre la estación base y los CPE, es un enlace LOS, es decir existe línea de vista y una comunicación directa.

Si la transmisión se produce sin línea vista entre los extremos, los enlaces son del tipo NLOS. Para evitar las interferencias se trabaja en la banda de frecuencia entre 2 y 11 GHz, lo que ocasiona que las velocidades de los enlaces sean menores y la cobertura disminuya.[4]

Para la transmisión entre dos puntos, se aplica la modulación OFDM<sup>1</sup> (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), con 256 portadoras y OFDMA<sup>2</sup> (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), con 2.048 portadoras. Una modulación que es la adecuada para las comunicaciones digitales de banda ancha inalámbrica, por lo que puede transportar datos de cualquier tipo de servicio en IP, voz, datos y también vídeo.

Se utiliza la modulación adaptativa para que el enlace tenga mejor calidad, la estación base y los equipos receptores negocian y eligen la modulación a emplear, según las características del enlace. [4]

---

<sup>1</sup> OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).- es una multiplexación que envía un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias ortogonales entre sí, donde cada una transporta información.

<sup>2</sup> OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access).- es la versión multiusuario de OFDM, se utiliza para que un número de usuarios pueda compartir el espectro de un canal de comunicaciones.

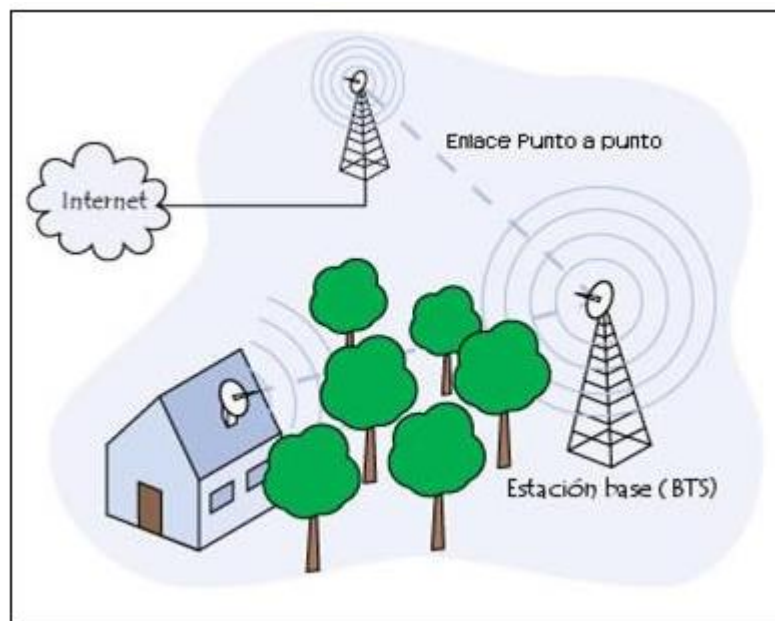
### 5.1.5. Topología de Red

WiMAX puede soportar varias topologías de red.

#### 5.1.5.1. Topología Punto-Punto

Una alternativa para la interconexión de las estaciones base es una red cableada, o también se puede realizar conexiones con enlaces de radio punto-punto en la banda de microondas, otra alternativa es usar precisamente WiMAX para estos enlaces punto-punto entre estaciones.

Las estaciones base son capaces de conectarse entre sí y con los suscriptores, dividiendo el ancho de banda entre el enlace utilizado para las comunicaciones de usuarios y el empleado para la interconexión a las diferentes estaciones base, en la figura 2 se observa un enlace Punto a Punto.



**Figura 2.** Enlace punto a punto [4]

#### 5.1.5.2. Topología Punto-Multipunto (PMP)

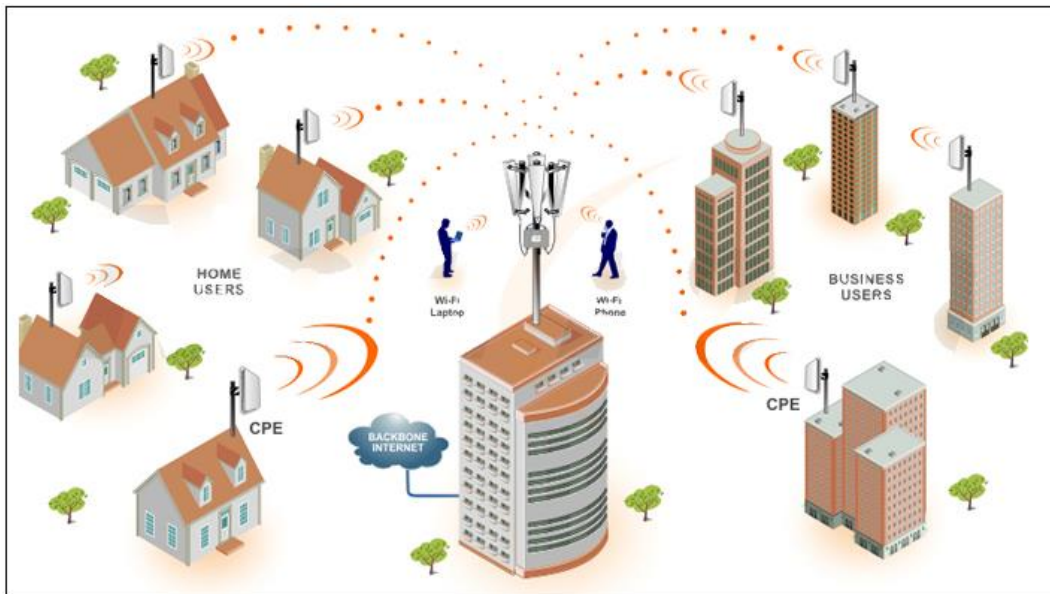
Las configuraciones punto-multipunto (PMP) en un enlace WiMAX se realizan a partir de una estación base (BS) central con antenas sectoriales o antenas omnidireccionales, estas antenas están instaladas en una torre o mástil, existen antenas sectoriales que cubren aperturas de 30°, 45°, 60°, 90°, 120°, y son las más utilizadas.

Cada antena cubre un sector, dentro de este sector la frecuencia puede ser rehusada. Realizando arreglos de antenas se pueden cubrir determinadas áreas, donde un conjunto de dipolos son combinados consiguiendo lóbulos direccionales. Las relaciones de fase son modificadas electrónicamente lo cual permite que las antenas adaptivas sean capaces de ajustar la anchura y dirección del lóbulo de radiación, lo que permite dar una conexión más eficiente a los usuarios.

En esta topología de red, el downlink funciona con una estación base y una antena sectorizada que cubre varias zonas al mismo tiempo. Una estación base transmite en un sector específico y en una sola frecuencia, por lo indicado, la gestión con otras radio base no es necesaria, excepto en la multiplexación de tiempo.

Las transmisiones downlink son broadcast, por lo que todos los usuarios reciben la información y eligen la que les pertenecen. En el enlace de subida se utilizan mecanismos de gestión de demanda para compartir el mismo canal.

En un enlace punto-multipunto, en el lado del uplink se comparte un nodo específico, el que da servicio a la zona, está provisto de una antena omnidireccional y puntos de terminación o repetidores. Esta topología punto multipunto es más fácil implementar que las redes punto a punto, pues para añadir un usuario solamente se requiere instalar un equipo en el lado del suscriptor, sin tener que cambiar nada en la estación base. Pero se debe tomar en cuenta que el suscriptor debe encontrarse dentro del área de cobertura, en el caso de WiMAX no se requiere de línea de vista. En la figura 3 se observa un enlace punto multipunto.[4]



**Figura 3.** Enlace punto multipunto [5]

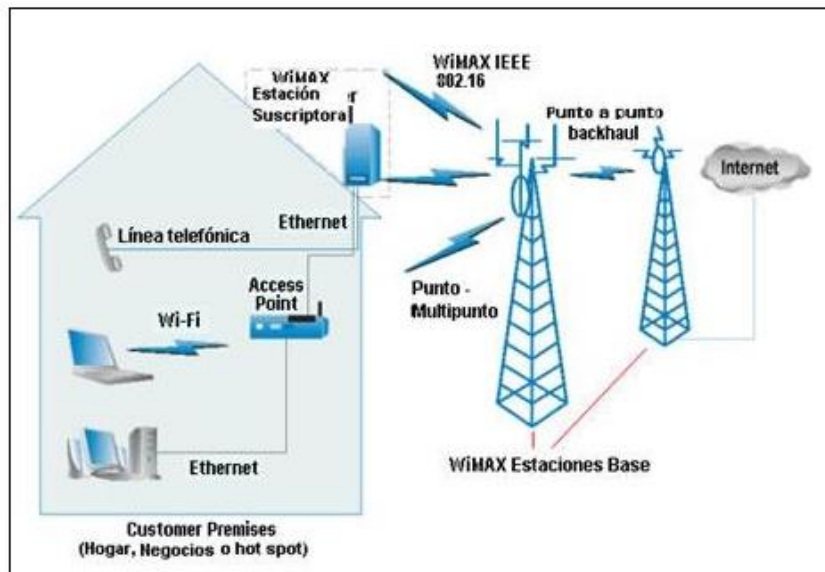
En resumen, la estación base es la que gestiona la red, donde:

- Los suscriptores se conectan a la estación base.
- La transmisión se divide en tramas de uplink y downlink.
- El downlink se comparte entre usuarios.

La arquitectura punto - multipunto es la arquitectura más utilizada porque le posibilita al operador de la red ampliar el número de usuarios con costos reducidos y optimiza la utilización routers y switches en la operación de la red.

Esta topología también se utiliza en bandas milimétricas, estas bandas tienen varias aplicaciones en el campo de las telecomunicaciones, como es el caso de las microondas de corto alcance, menores a 1 Km.

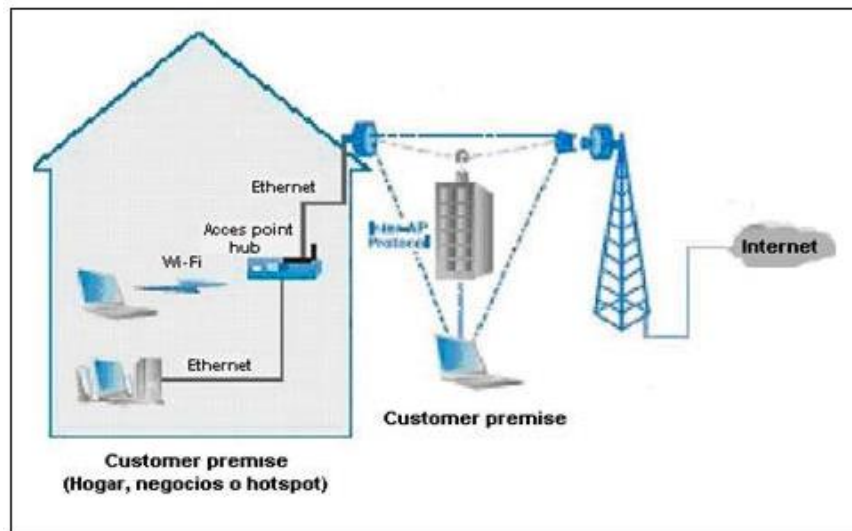
En la figura 4 se pueden observar los dos tipos de topologías de WiMAX:



**Figura 4.** Enlaces Punto-Punto y Punto Multipunto [4]

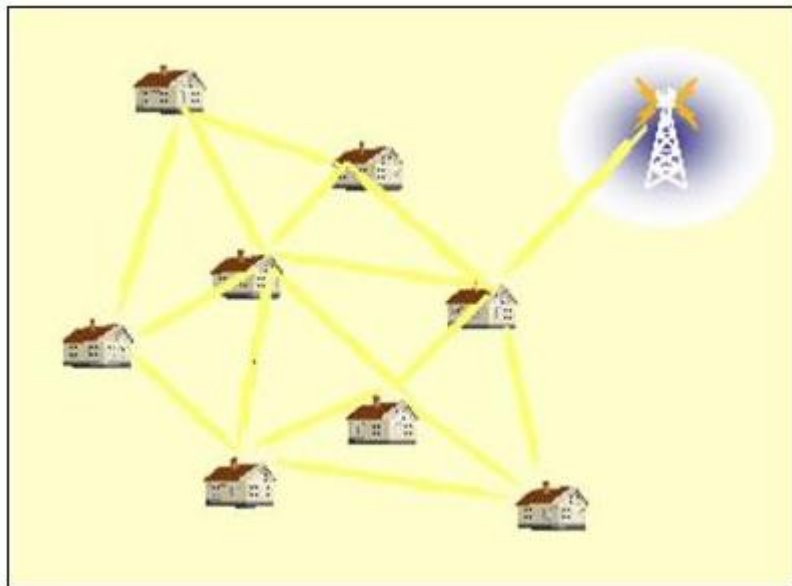
### 5.1.5.3. Redes Malladas (Mesh)

En este tipo de redes malladas la comunicación se puede realizar entre nodos y no sólo entre nodo y estación base, en la figura 5 se observa este tipo de red.



**Figura 5.** Topología Malla [4]

En estas redes, las operaciones se las puede desarrollar de dos maneras distintas, la distribuida o la centralizada, en la distribuida, la forma de transmisión debe ser gestionada por cada uno de los nodos para prevenir colisiones, además realizan control de tráfico, también deben enviar por difusión su estado a todos sus vecinos. En la centralizada, la estación base Mesh, recibe las peticiones de enlace de los usuarios finales en su área de cobertura y concede los permisos, sean estos para el downlink o para el uplink, esta nueva conexión se informa a las estaciones circundantes, en la figura 6 se observa una red mallada.[4]



**Figura 6.** Red Mallada (Red Mesh) [4]

En una red mesh los usuarios finales pueden establecer enlaces con usuarios contiguos, por lo que existen varios caminos para llegar al nodo destino de la red. Existen mecanismos automáticos de encaminamiento que permiten direccionar en todo momento las comunicaciones por el camino más adecuado aun si un nodo está caído, esto quiere decir que si un nodo deja de funcionar, automáticamente buscan otros caminos para que la red siga operativa.

Por lo que, una red mesh tiene las siguientes características:

- No es necesario un nodo central para la gestión de la red.
- Los usuarios se conectan unos con otros.
- No se diferencia entre uplink o downlink.

### 5.1.6. Estándares 802.16

IEEE 802.16 son estándares de banda ancha inalámbricos, desplegados por el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). El IEEE formó un comité para desarrollar el estándar, iniciando trabajos en julio de 1999 y siendo aprobado el 8 de abril de 2002. Este estándar recoge las especificaciones de una interfaz radio para redes inalámbricas de área metropolitana, esta interfaz se utiliza para dar servicios de banda ancha BWA (Broadband Wireless Access).

Los estándares 802.16 se comercializan bajo el nombre de WiMAX ("World wide Interoperability for Microwave). El WiMAX Forum certifica que los equipos son operables bajo los estándares 802.16. [6]

Desde la aprobación en el mes de Abril del 2002 han sido varios los documentos técnicos desarrollados y actualizados, en la tabla 2 se pueden observar los diferentes estándares desarrollados.

**Tabla 2.** Estándares 802.16 [6]

Estándar	Descripción
802.16-2001	Fixed Broadby Wireless Access (10–66 GHz)
802.16.2-2001	Práctica recomendada para coexistencia
802.16c-2002	Perfiles de sistema para 10–66 GHz
802.16a-2003	Capa física y definiciones de MAC para la banda de 2–11 GHz
P802.16b	Frecuencias exentas de licencia (Proyecto retirado)
P802.16d	Mantenimiento y perfiles de sistema para 2–11 GHz (Proyecto fusionado con 802.16-2004)
802.16-2004	Interfaz aérea para conexión a un punto de acceso fijo de banda ancha (Paquete acumulativo de 802.16-2001, 802.16a, 802.16c y P802.16d)
P802.16.2a	Coexistencia con 2–11 GHz y 23.5–43.5 GHz (Proyecto fusionado con 802.16.2-2004)
802.16.2-2004	Prácticas recomendadas para coexistencia (Mantenido y paquete acumulativo de 802.16.2-2001 y P802.16.2a)
802.16f-2005	Base de información para 802.16-2004
802.16-2004/Cor 1-2005	Correcciones para operaciones fijas (co-publicado con 802.16e-2005)
802.16e-2005	Mobile Broadband Wireless Access System
802.16k-2007	Puenteo en redes 802.16 (una ampliación de IEEE 802.1D)
802.16g-2007	Procedimientos plano de gestión y servicios
P802.16i	Gestión de la base de información móvil (Project Fusionado en 802.16-2009)
802.16-2009	Interfaz aérea para acceso a un punto fijo de banda ancha (paquete acumulativo de 802.16-2004, 802.16-2004/Cor 1, 802.16e, 802.16f, 802.16g y P802.16i)
802.16j-2009	Retransmisión multisalto
802.16h-2010	Improved Coexistence Mechanisms for License-Exempt Operation
802.16m-2011	Interfaz aérea avanzada con tasa de transferencia de 100 Mbit/s móvil y 1 Gbit/s sobre punto fijo. También se conoce como Mobile WiMAXRelease 2 o WirelessMAN-Advanced. Con el objetivo de cumplir con los requerimientos de ITU-R IMT-Advanced para sistemas 4G.
P802.16n-2013	Redes de mayor fiabilidad
P802.16p-2012	Mejoras para soportar aplicaciones con conexión Máquina a Máquina
P802.16q-2015	Redes Multinivel

A continuación se describen los estándares 802.16 más relevantes en el desarrollo de esta tecnología.

- **Estándar 802.16.-** Estándar de transmisión Wireless conocido como WiMAX, que es compatible con Wi-Fi, apareció en Abril de 2002 con el propósito de abarcar con tecnología inalámbrica hasta 50 Km de distancia, con velocidades de transmisión de hasta 70 Mbps en las bandas de frecuencia comprendidas entre 10 GHz y 66 GHz, utilizando enlaces fijos de radio con línea de vista conocidos como sistemas LOS (Line Of Sight).[7]
- **Estándar 802.16a .-** Este estándar se publicó un año más tarde, en Marzo del 2003, y fue desde ese año que WiMAX comenzó a tomar relevancia, este estándar incorpora las características de no línea de vista NLOS (No Line Of Sight) y Calidad de Servicio QoS (Quality of Service), en los enlaces NLOS a frecuencias de 2- 11 GHz alcanza velocidades de 75Mbps y distancias de 50 a 60 Km, no requiere licencias para su operación y se la puede utilizar en topologías punto multipunto y para redes en malla, también fue diseñado para soportar multimedia (voz, video, datos).[8]
- **Estándar 802.16b.-** Este estándar usa las bandas de frecuencia de 5 GHz y 6 GHz e incluyó una mejora en la Calidad de servicio QoS por lo que permite realizar transmisiones con baja distorsión en la señal y en tiempo real de voz y datos .[9]
- **Estándar 802.16c.-** En las frecuencias de 10-66 GHz es su rango de operación. Entre los adelantos de este estándar se puede indicar la mejora en la interoperabilidad entre los equipos de diferentes fabricantes.[9]
- **Estándar 802.16d.-** Es la versión fija del estándar WiMAX y fue difundido en junio del 2004, este estándar reemplazó a la versión 802.16a. Opera en frecuencias de 2 a 11 GHz, su velocidad de transferencia es de 70 Mbps, siendo su rendimiento real de 40 Mbps. La cobertura de radio es de aproximadamente 6 a 11 kilómetros. Este estándar se lo puede emplear para el backhaul inalámbrico y para las redes celulares, si se emplea el espectro con licencia. Asimismo esta tecnología brinda una opción inalámbrica al módem por cable y a DSL, ya que 802.16-2004 es solamente para el acceso fijo, es decir, Internet en hogares de banda ancha de manera inalámbrica, este estándar también puede soportar voz sobre IP.[9]
- **Estándar 802.16e.-** Este estándar fue aprobado en el año 2005 y se lo conoce también como WiMAX móvil, ofrece una velocidad de transferencia de 50 Mbps. Es otra variación del estándar 802.16 que le sigue a 802.16-2004, el cual no es compatible con el 802.16e, por lo que se necesita una nueva versión de hardware y software. Una característica clave de este estándar es la portabilidad, característica que puede ser explotada en la telefonía móvil, en este estándar una estación base puede transmitir a



múltiples suscriptoras al mismo tiempo pero en canales separados, de igual forma múltiples subscritoras pueden transmitir al mismo tiempo a la estación base, puede soportar aplicaciones móviles con velocidades arriba de los 160 Km/h.[8][9]

- **Estándar 802.16j.**- El objetivo de este estándar es mejorar la cobertura, caudales y capacidad de estándar IEEE 802.16e mediante la incorporación de estaciones repetidoras, fijas o móviles, actuando como intermediarias entre las estaciones móviles y las estaciones base, lo que permite mejorar la cobertura.  
El estándar proporciona mayor eficiencia espectral debido a la reutilización espacial de frecuencias por parte de las repetidoras. También mejora la fiabilidad en las comunicaciones al poder reemplazar enlaces baja calidad entre estación base y terminal móvil por dos o más saltos de mayor calidad.[10]
- **Estándar 802.16m.**- Este estándar también es llamado WiMAX 2.0, tiene una interfaz aérea avanzada con una tasa de transferencia de 100 Mbps en situaciones de alta movilidad y 1 Gbps sobre punto fijo, soporta mayor movilidad alcanzando hasta 350 Km/h gracias a la adaptación del enlace, retrasos menores en el acceso así como mejores cambios y traspasos de celda, tiene una mejor eficiencia espectral y tasas de transferencia pico, la eficiencia espectral en el enlace descendente y en el ascendente 15 y 6.75 bps/Hz usando las configuraciones de antena MIMO 4x4 y 2x4 respectivamente, menor sobrecarga y mayor eficiencia que se traducirá en un incremento de capacidad, menores tiempos de latencia y reducción del consumo de potencia en el terminal móvil.[11]
- **Estándar 802.16p.**-En esta enmienda se especifican las mejoras que proporcionan un mejor soporte para aplicaciones de máquina a máquina. Modificación, acceso inalámbrico de banda ancha (BWA), IEEE 802.16, IEEE 802.16p, interfaz de radio IMT-2000, máquina a máquina (M2M), banda ancha móvil, acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA).[12]
- **Estándar 802.16q.**-En esta enmienda realizada en el 2015 se especifican las mejoras del protocolo MAC / PHY para la cooperación entre estaciones base en redes de varias capas para mejorar la mitigación de interferencias, la gestión de la movilidad y la gestión de la energía de la estación base. Las estaciones base mejoradas soportarán las estaciones móviles legadas. Además, estas mejoras de protocolo incluyen mensajería de gestión entre estaciones base y entre estaciones base y estaciones móviles.[13]

### 5.1.7. Características de WIMAX

Tabla 3. Características de WiMAX [14]

	802.16	802.16a	802.16e
Espectro	10 - 66 GHz	< 11 GHz	< 6 GHz
Funcionamiento	Solo con visión directa	Sin visión directa (NLOS)	Sin visión directa (NLOS)
Tasa de bit	32 - 134 Mbit/s con canales de 28 MHz	Hasta 75 Mbit/s con canales de 20 MHz	Hasta 15 Mbit/s con canales de 5 MHz
Modulación	QPSK, 16QAM y 64 QAM	OFDM con 256 subportadoras QPSK, 16QAM, 64QAM	Igual que 802.16a
Movilidad	Sistema fijo	Sistema fijo	Movilidad pedestre
Anchos de banda	20, 25 y 28 MHz	Seleccionables entre 1,25 y 20 MHz	Igual que 802.16a con los canales de subida para ahorrar potencia
Radio de celda típico	2 - 5 km aprox.	5 - 10 km aprox. (alcance máximo de unos 50 km)	2 - 5 km aprox.

Anchos de los canales entre 1,5 y 20 MHz.

Emplea modulaciones OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) y OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) con 256 y 2048 portadoras respectivamente, con las cuales se puede obtener altas velocidades de transmisión incluso en condiciones adversas. Esta modulación también se utiliza para Wi-Fi (802.11a), TV digital, sobre cable o satélite.

En WiMAX se puede utilizar antenas inteligentes “smart antennas” las que permiten mejorar el desempeño y la cobertura. Estas antenas son utilizadas en la tecnología 3G empleada en las redes celulares, con lo que elevan la eficiencia espectral.

Incorpora mecanismos de modulación adaptativa, con esta modulación el nodo principal y el suscriptor buscan la mejor modulación para conectarse, dependiendo de las características de la conexión, como son 64QAM, 16 QAM, QPSK y BPSK.

Soporta un gran ancho de banda, su transmisión puede ser de manera continua como a ráfagas, soporta algunos cientos de suscriptores, es independiente del protocolo, por lo que puede transportar IP, Ethernet, ATM etc. y brinda Calidad de Servicio (QoS) en 802.16e, por lo que puede ser utilizado para voz sobre IP, video y datos.

Estas redes también pueden crear redes malladas (*mesh networks*) lo que permite que sin tener línea de vista los suscriptores pueden comunicarse entre sí.

Para la seguridad se emplean mecanismos de autenticación de usuarios y la encriptación de datos con los algoritmos RSA (Rivest, Shamir, Adleman) y triple DES (Data Encryption Standard).[2]

La voz es muy importante, por lo que el estándar IEEE 802.16a incluye la calidad de servicio, lo que permite obtener una red de baja latencia, esta propiedad de la red contribuye para ofrecer servicios de voz y datos de manera eficiente.

WiMAX al utilizar un medio de transmisión inalámbrico, ha desarrollado un sistema tendiente a garantizar la seguridad de la información de los usuarios, con el que previene el acceso no autorizado a la información confidencial y sensible de los suscriptores.

Para garantizar la confidencialidad de la información de los suscriptores, WiMAX ha aplicado las medidas apropiadas para minimizar los riesgos de seguridad, entre las medidas se tienen:

- Escuchas/espionaje: Cuando se está transmitiendo intercepta la información.
- Privacidad: que la información que se transmite debe llegar solo al destinatario al que se envía.
- MAC Spoofing: evitar que se capturen direcciones MAC de CPE legítimas para obtener accesos no autorizados a la red.
- Robo de servicios: prevenir que personal no autorizado ingrese a la red con CPE robadas para acceder a los servicios. [15]

## **5. 2. ESTUDIO DE DEMANDA**

El estudio de demanda es una de las actividades para conocer si es factible el diseño de un sistema.

Existen diferentes métodos con los que se puede recopilar información para realizar un estudio de mercado, entre estos métodos se tienen:

### **5.2.1. Método Estadístico**

Obteniendo una información actual e histórica de un producto, se puede proyectar el comportamiento en las variables del mercado, como son la oferta, la demanda y el precio. Este método se aplica a bienes que existen o que han existido.[16]

Los productos pueden ser bienes de consumo final, bienes intermedios, bienes de capital o de servicios.

Para realizar el estudio de mercado se necesitan datos, estos se los puede obtener de diferentes fuentes como son las instituciones públicas y privadas, también se puede adquirir información en base a la observación, otras fuentes serían las publicaciones especializadas.

Existen casos en que no se puede utilizar el método estadístico porque el producto es nuevo y no existe información anterior. Para superar este problema se emplean los siguientes métodos para la recolección de datos.[16]

### **5.2.2. Método de Encuestas**

Este método permite obtener información referente a las preferencias del consumidor referente a un producto nuevo que saldrá al mercado o de un producto que ya existe pero del que no se tienen datos estadísticos.

Para desarrollar una encuesta se debe conocer que es un universo, el universo es un conjunto de personas de las cuales se pretende obtener una información específica. Este conjunto de personas puede pertenecer a una localización geográfica, un rango de edad, un segmento del mercado, un nivel de ingresos, etc.

El universo se divide en unidades, de estas unidades se selecciona una muestra que tiene que ser representativa. Se denomina tamaño de muestra al número de personas que se debe

encuestar. El tamaño de la muestra es directamente proporcional al costo de la encuesta, por lo que se toma una muestra pequeña pero representativa y significativa.

Para efectuar las encuestas se tiene diferentes métodos, a continuación se describen dos de ellos:

**La Encuesta directa.-** Es aquella que se efectúa cara a cara, personalmente al virtual usuario, el encuestador con un cuestionario previamente elaborado aborda al consumidor y le formula las preguntas, empleando este método la recolección de datos se tarda, lo cual es una desventaja.

**La Encuesta a Domicilio.-** El encuestador se traslada al domicilio en la localización geográfica del grupo objetivo al cual se le realizará la encuesta, en este tipo de encuesta la persona encargada tiene que conocer las preguntas que realizará al consumidor y no debe influir en las respuestas, el cuestionario debe ser sencillo y tiene que incluir preguntas que se puedan responder si o no. [17].

### **5.2.3. Recopilación de Información**

Para el presente estudio se optó por la técnica de encuestas directas para recabar la información y conocer los gustos y preferencias de los potenciales clientes, a fin de poder conocer información acerca de:

- Gustos y preferencias de los consumidores
- El tipo de servicio.
- La aceptación del precio a pagar por los servicios que se implementen mediante la red inalámbrica (WiMAX)
- El perfil del cliente.

Para el desarrollo de esta investigación, se determinó la necesidad de aplicar encuestas guiadas, en la zona urbana de la ciudad de Latacunga por constituirse en un lugar de gran concentración poblacional y actividad económica.

La encuesta se estructuró en forma clara, con preguntas de opción múltiple, tendientes a conocer las preferencias de los habitantes en torno al tema.

#### **5.2.3.1. Tamaño de Muestra**

El tamaño de la muestra se calcula mediante procedimientos estadísticos, por lo que se tomó la siguiente ecuación para determinar el tamaño, esta relación fue elaborada por la especialista de investigación de mercados Laura Fischer. [18]

Se seleccionó esta fórmula por cuanto al estar investigando gustos y preferencias de los potenciales clientes, no se dispone de estadígrafos (media poblacional ni desviación estándar) que permitan aplicar otra fórmula basada en indicadores estadísticos; la formulación para el tamaño de la muestra fue:

Ecuación 1 [18]

$$n = \frac{Z^2 * N * p * q}{B^2(N - 1) + nZ^2 * p * q}$$

En donde constan los siguientes términos:

**n:** será el tamaño de la muestra

**N:** es el tamaño de la población o universo

**Z:** es una constante que depende del nivel de confianza que se busca, mientras el nivel de confianza se incremente mayor es el valor de esta variable, estos valores se observan en la tabla número 2.

**Tabla 4.** Valor de Z [19]

Valor de Z	1,15	1,28	1,44	1,65	1,96	2,24	2,58
Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	97,5%	99%

**B:** error absoluto de la muestra

Los valores empleados en las diferentes variables que tiene la fórmula son:

Para tener la seguridad de que el tamaño de la muestra es el adecuado (suficientemente grande), para aplicar eficientemente la fórmula de n para proporciones de éxito y fracaso se usa:

p=0.5 y como q=1-p, se tiene que q =0.5.

El valor p es la probabilidad de selección del elemento muestral y q es la probabilidad de no selección del elemento muestral.

B = 0.1; que equivale al 10% considerado como error muestral.

El nivel de confianza buscado es del 95%

Y se tiene por tanto:

$$p*q=0,25$$

$$Z=1.96$$

El valor de Z, se obtiene por medio de la tabla para la distribución normal [19].

Según proyecciones de INEC para la población en los cantones se tiene para Latacunga.

**Tabla5.** Proyección de la población de la ciudad de Latacunga [20]

PROYECCIONES REFERENCIALES DE POBLACIÓN A NIVEL CANTONAL-PROVINCIAL															
PROVINCIA	CANTÓN	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
COTOPAXI	LATACUNGA	176842	179794	182748	185698	188627	191539	194423	197277	200094	202878	205624	208325	210990	213618

El 37.4 % de los habitantes del cantón Latacunga viven en la zona urbana, lo que da una población de 73781 al año 2017.[21]

N que es el número de personas que residen en el sector urbano de Latacunga = 73781, valor que se reemplazará en la ecuación 1 para determinar el tamaño de la muestra.

$$n = \frac{(1.96)^2 * 73781 * 0.5 * 0.5}{(0,1)^2(73781 - 1) + (1.96)^2 * 0.5 * 0.5}$$

Aplicando estos valores en la fórmula anterior, se tiene:

El tamaño de la muestra es n= 95.91;

Por lo tanto el número de encuestas aplicadas en el presente estudio es de 96

### 5.2.3.2. Encuesta Realizada

A continuación se presenta la consulta realizada.[22][23]

## WIMAX EN LATACUNGA

Por favor, dedique unos momentos a completar esta encuesta.

La información que se obtenga servirá para mejorar el producto que se ofrecerá.

Esta encuesta dura aproximadamente 10 minutos.

1.- ¿Actualmente cuenta con el servicio de internet?

☐ Si

☐ No

2.- ¿Considera que el internet actualmente es una necesidad?

☐ Si

☐ No

3.- ¿Cómo accede a internet?

☐ utilizando la línea telefónica

☐ a través de algún servicio de banda ancha

☐ otros, especifique\_\_\_\_\_

4.- ¿Quién es su proveedor de internet?

☐ CNT

☐ Claro

☐ Porta

☐ TV Cable

☐ Punto Net

☐ NetLife

☐ Otro, especifique\_\_\_\_\_

5.- ¿Cómo califica a su proveedor de internet?

☐ bueno

☐ regular

☐ malo

☐ pésimo



6.- ¿Qué precio paga mensualmente el servicio de internet?

- ☐ Menos de \$20
- ☐ \$20 - \$30
- ☐ \$40 - \$50
- ☐ Más de \$50

7.- ¿Ha escuchado usted sobre el acceso inalámbrico a internet?

- ☐ Si
- ☐ No

8.- ¿En base a una demostración, ¿estaría interesado en adquirir el servicio de internet con acceso inalámbrico?

- ☐ Si
- ☐ No

9.- ¿Qué precio estaría dispuesto a pagar por el servicio de internet con acceso inalámbrico?

- ☐ Menos de \$20
- ☐ \$20 - \$30
- ☐ \$40 - \$50
- ☐ Más de \$50

10.- ¿Le interesaría disponer de varias opciones de velocidad y precios de internet?

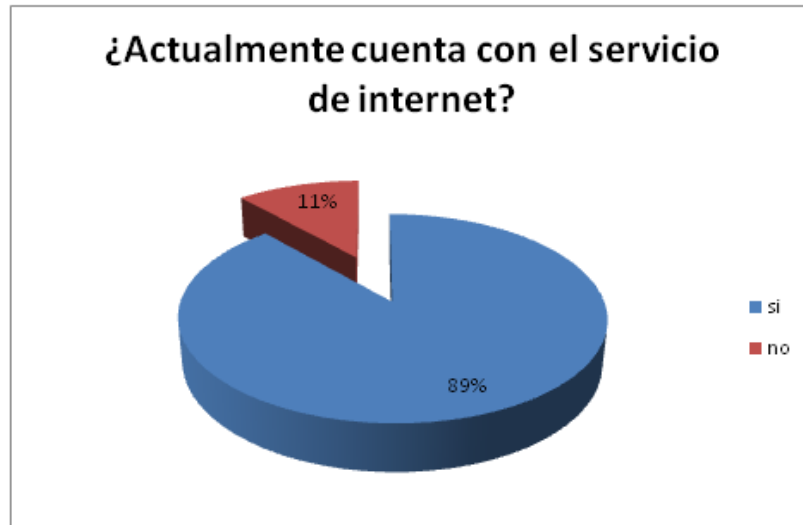
- ☐ Si
- ☐ No

11.- ¿Valore en importancia a cada uno de los siguientes aspectos. Siendo 5 lo más alto y uno lo más bajo?

- |                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| Velocidad alta  | <input type="radio"/> |
| Buen precio     | <input type="radio"/> |
| Movilidad       | <input type="radio"/> |
| Soporte técnico | <input type="radio"/> |

### 5.2.3.3. Análisis de Resultados de la Encuesta

#### ➤ Pregunta 1

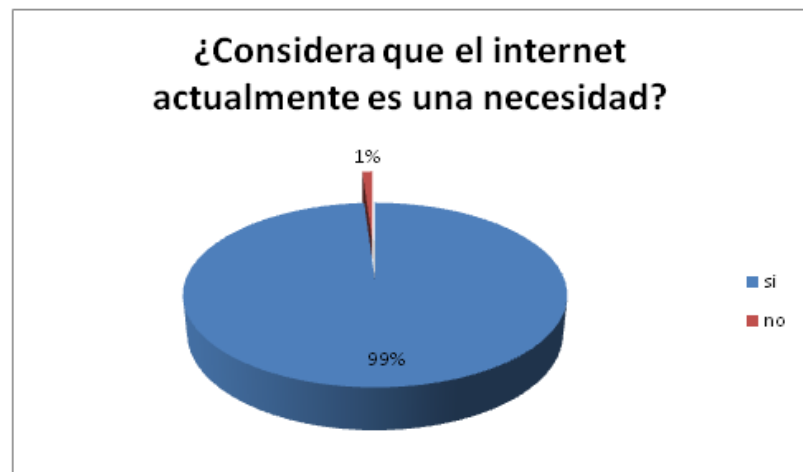


**Figura 7.** Cuenta con servicio de internet?

Fuente Autor

De la figura 7 se puede observar que el 89 % de los encuestados cuenta con el servicio de internet y el 11% no tiene este servicio, por lo que serían potenciales clientes.

#### ➤ Pregunta 2

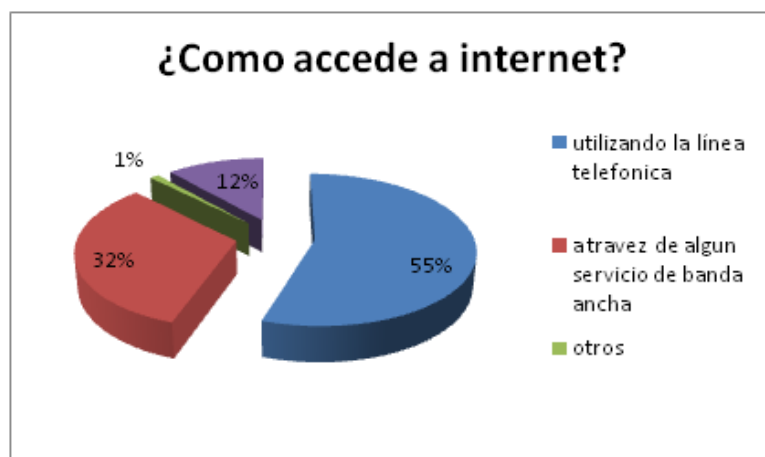


**Figura 8.** Considera a internet como una necesidad?

Fuente Autor

En la figura 8 se observa que un 99% de encuestados considera que el internet es una necesidad, ya que actualmente se utiliza el internet en todos los ámbitos de la vida, como en la educación, el trabajo y el entretenimiento, esta percepción tan alta favorece al proyecto pues se tendría un gran mercado.

➤ **Pregunta 3**

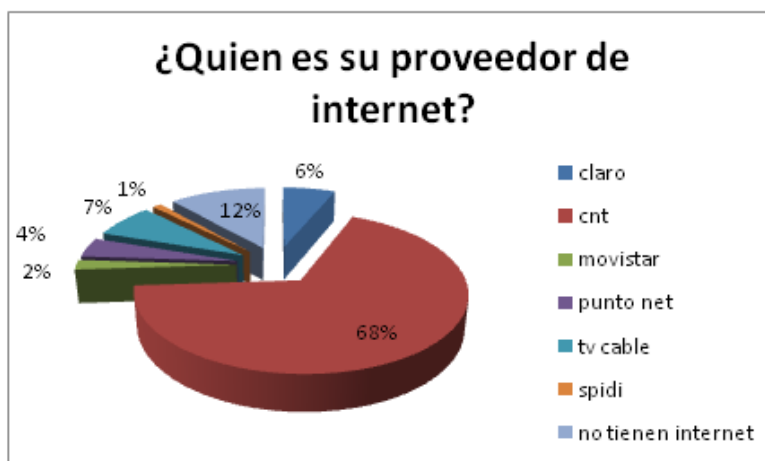


**Figura 9.** Acceso a Internet

Fuente Autor

Se observa en la figura 9 que la mayor parte de usuarios, un 55 %, utilizan la línea telefónica y el 32% acceden por banda ancha, un usuario indica que tiene el servicio por medio de satélite.

➤ **Pregunta 4**

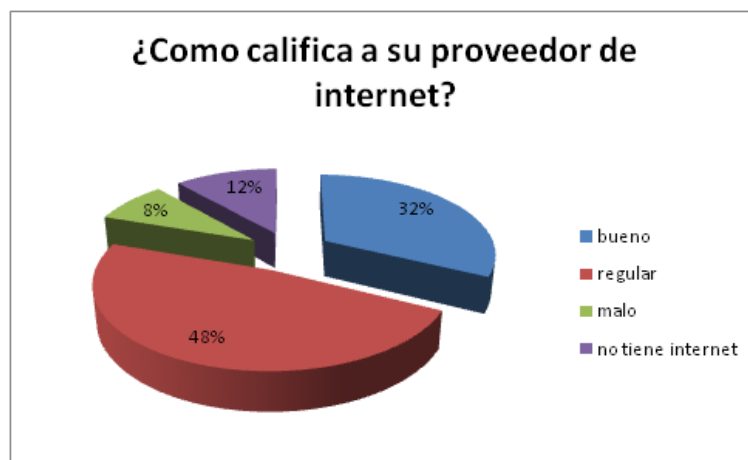


**Figura 10.** Proveedores de internet

Fuente Autor

En la gráfica se observa que CNT con un 68% es la empresa que ha captado mayoritariamente el mercado, seguida de TV Cable con un 7% de participación, Claro con un 6%, Punto Net con 4%, Movistar con 2%, y un 12 % de personas que no tienen servicio de internet el cual es un mercado potencial.

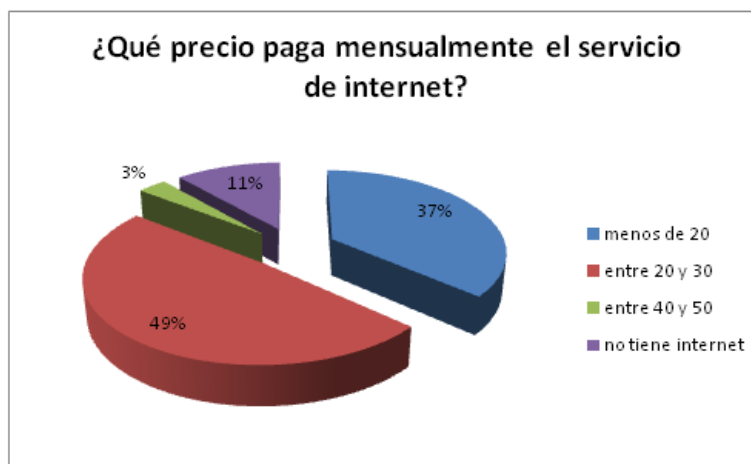
#### ➤ **Pregunta 5**



**Figura 11.** Calificación proveedor de servicio  
Fuente Autor

Se tiene en la figura 11 que el 32% de usuarios califica a su proveedor de bueno, el 48% de regular y el 8% de malo, se tomará a los usuarios que califiquen de malo a su proveedor como posibles clientes además del 12% que aún no tiene servicio de internet.

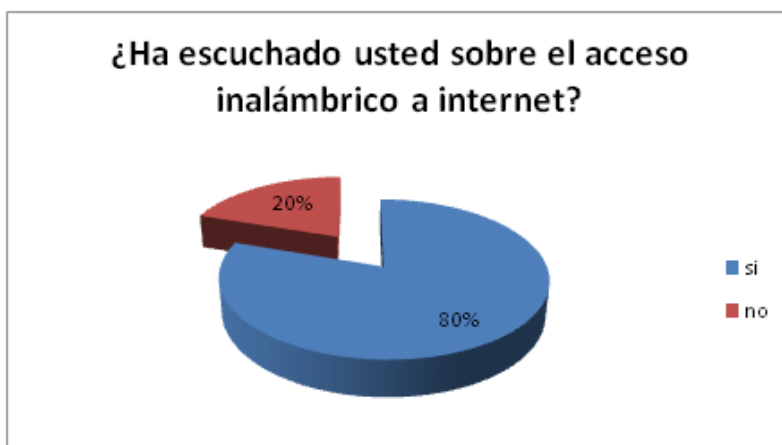
#### ➤ **Pregunta 6**



**Figura 12.** Precio que paga mensual  
Fuente Autor

De la figura 12 se observa que el 49% de los encuestados pagan por el acceso a internet de 20 a 30 dólares, el 37% menos de 20 dólares y un 3% entre 40 y 50 dólares, esto da una referencia de la tendencia en cuanto a costos que los usuarios podrían pagar.

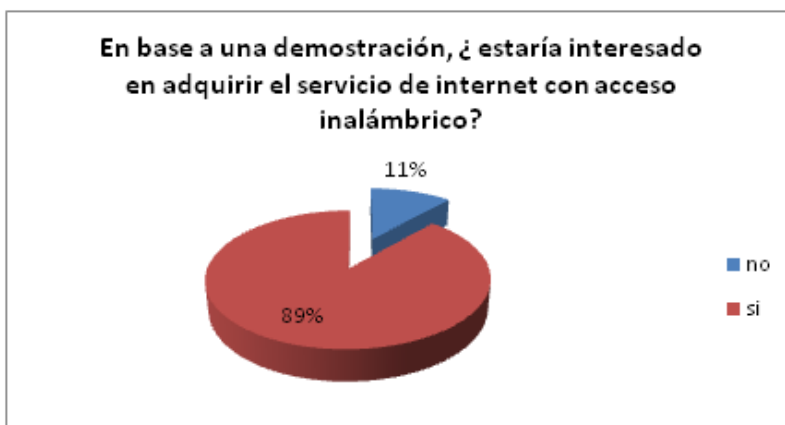
➤ **Pregunta 7**



**Figura 13.** Conocimiento de acceso inalámbrico a internet  
Fuente Autor

Del gráfico se puede ver que el 80% de encuestados ha escuchado sobre el acceso inalámbrico a internet lo cual es una ventaja para el desarrollo del proyecto, el 20 % no lo conoce.

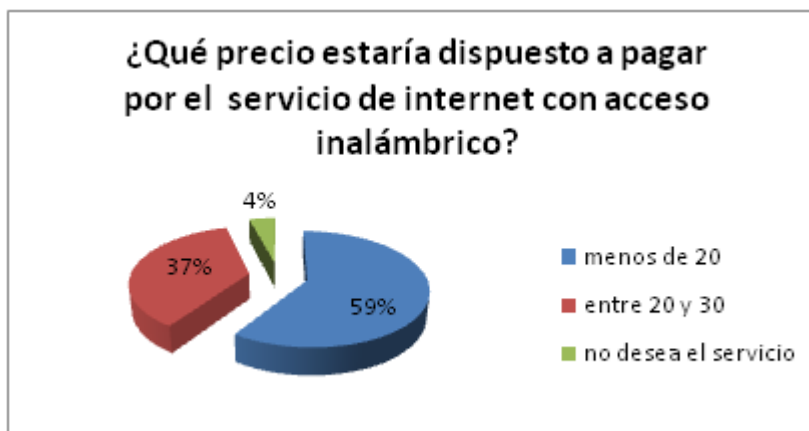
➤ **Pregunta 8**



**Figura 14.** Interesados en adquirir el servicio inalámbrico  
Fuente Autor

Se puede ver en la figura 14, que el 11 % de los encuestados no estaría dispuesto a adquirir el servicio, el 89% estaría interesado en el servicio, lo que da un parámetro para proyectar los posibles clientes, pero también se debe tomar en cuenta los otros actores del mercado.

➤ **Pregunta 9**



**Figura 15.** Precio que podrían pagar por el servicio  
Fuente Autor

Del gráfico se puede observar que el 59% estaría dispuesto a pagar menos de 20 dólares, el 37% pagaría entre 20 y 30 dólares, lo cual da un parámetro para el cobro.

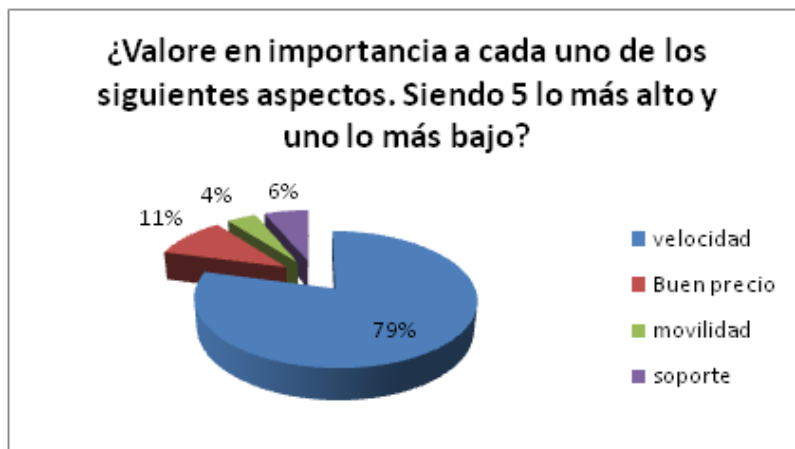
➤ **Pregunta 10**



**Figura 16.** Opciones para velocidad en internet  
Fuente Autor

En la figura 16 se puede observar que el 94% de encuestados le gustaría tener opciones para la velocidad y precios en el internet, el 6% no estaría interesado.

➤ **Pregunta 11**



**Figura 17.** Importancia en parámetros  
Fuente Autor

Se valoraron 4 parámetros en la encuesta y se encontró que el más valorado con un 79% fue la velocidad, el segundo en orden de prioridad con un 11% está el buen precio, con un 6% está el soporte y con un 4% la movilidad, en la figura 17 se observan los resultados.

#### **5.2.3.4. Estimación de Demanda de Clientes**

Una vez tabulados los resultados de las encuestas realizadas en la zona urbana de la ciudad de Latacunga, se tiene como demanda potencial a los usuarios que no cuentan con servicio de internet y los que califican a su proveedor como malo.

Según los datos obtenidos en la pregunta 5 de la encuesta, se tiene que un 8% consideran malo a su proveedor de internet y el 12% no cuenta con servicio de internet, esto quiere decir que, de los 96 encuestados, un 20 % sería la demanda potencial que representa a 19 encuestados.

Para determinar la demanda inicial se emplea la siguiente fórmula [14].

Ecuación 2

$$Do = \frac{e_{meta}}{e_{totales}} N$$

Donde:

- Do : Demanda inicial
- $e_{meta}$ : Número de encuestados que cumplen los parámetros establecidos

- $E_{\text{totales}}$ : Número total de encuestados
- $N$  : Tamaño total de la población para este estudio de demanda

Reemplazando se tiene:

$$D_o = \frac{19}{96} 73781$$

$$D_o = 14602$$

Como el servicio está destinado para hogares, se toma el dato publicado por el INEC en el año 2013, según el cual se indica que el promedio de integrantes de un hogar en Ecuador es de 3.9 personas, para efectos del estudio se tomará un valor de 4 personas, por lo que, de la demanda inicial de 14602 clientes se tendrían 3650 hogares que requieren el servicio de internet inalámbrico.

De estos 3650 posibles clientes y por datos obtenidos de la encuesta, se determinó que la CNT tiene el 57% del mercado y las demás empresas importantes el 35%, tomando en consideración estas cifras, se trabajará para atraer el 8% restante que representan 292 usuarios.

También se apuntará a captar usuarios de las otras operadoras aprovechando que existen clientes poco satisfechos o mal atendidos, estos usuarios solo están esperando una opción ligeramente mejor para cambiarse de proveedor, se espera captar un 2% de usuarios por este concepto, lo que representan 70 nuevos usuarios, sumados a los 292 se tendrá un total 362 usuarios que será la demanda inicial del proyecto.

Para captar usuarios se emprenderán algunas acciones como:

- Repartir volantes.
- Anuncios en los periódicos locales.
- Publicidad en redes sociales.
- Creación de una página web.
- Inauguración de la oficina, con rifas y promociones.

Por a la dificultad de prever la vida exacta de un proyecto, no existe una forma específica para determinarlo, sin embargo se toman en cuenta factores como el número de años en que los activos del proyecto operan normalmente, el número de años que será requerido el bien o servicio que se ofrece y el período de tiempo que transcurre hasta que los activos utilizados en



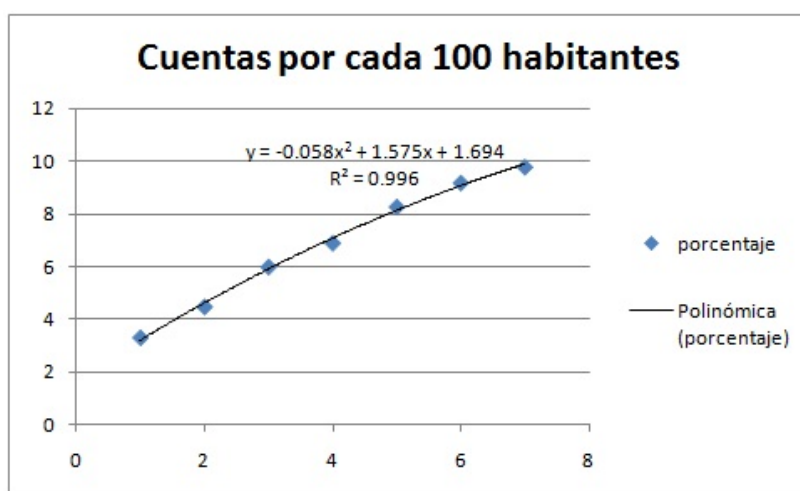
el proceso productivo dejen de ser competitivos, por lo expuesto se suele tomar un período fijo de tiempo de 5 años para proyectos comerciales.

Se proyectará la demanda para los próximos 5 años, para este objetivo, se utilizarán como datos iniciales el número de cuentas de internet fijo en Ecuador para los años 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 y 2016, estos datos fueron obtenidos de ARCOTEL en donde se indica que estas cifras están actualizadas a Diciembre del 2016, en la tabla 6 se puede observar la cuentas de internet fijo en Ecuador.

**Tabla 6.** Cuentas de internet fijo en Ecuador [24]

CUENTAS DE INTERNET FIJO EN ECUADOR				
Año	Cuentas	Usuarios	Población	Cuentas Internet Fijo por cada 100 habitantes
dic-10	472,429	1,889,716	14,111,640	3.35
dic-11	645,822	2,583,288	14,443,679	4.47
dic-12	890,276	3,561,104	14,899,214	5.98
dic-13	1,084,535	4,338,140	15,774,749	6.88
dic-14	1,322,802	5,291,208	16,027,466	8.25
dic-15	1,491,405	5,965,620	16,278,844	9.16
dic-16	1,613,358	6,453,432	16,528,730	9.76

Con estos datos se realiza una proyección de las Cuentas de internet fijo para los próximos 5 años, utilizando el formato de línea de tendencia de excel.



**Figura 18.** Cuentas de internet fijo por cada 100 habitantes  
Fuente Autor

De la figura 18 se puede obtener la ecuación para la proyección de usuarios:

$$Y = -0.058X^2 + 1.575X + 1694$$

Una vez obtenida la ecuación se proceden a reemplazar los valores, en donde “X” son los años y la variable “Y” es el número de cuentas por cada 100 habitantes, en la tabla 7 se indican las cuentas por cada 100 habitantes en Ecuador.

**Tabla 7.** Cuentas por cada 100 habitantes

Año	Cuentas por cada 100 habitantes
2016	9.76
2017	10.583
2018	11.172
2019	11.64
2020	12.001
2021	12.242
2022	12.367

Fuente Autor

En la tabla 8 se muestra la proyección de usuarios para los próximos 5 años en la ciudad de Latacunga, tomando como referencia el crecimiento de usuarios de internet fijo en Ecuador.

**Tabla 8.** Crecimiento de usuarios

Año	Habitantes de Latacunga en la zona urbana	Cuentas por cada 100 habitantes	Número de cuentas Totales	Usuarios proyectados
2016	72714	9.76	7096	
2017	73781	10.583	7808	362
2018	74835	11.172	8360	388
2019	75876	11.64	8831	409
2020	76903	12.001	9229	427
2021	77913	12.242	9538	442
2022	78910	12.667	9995	463

Fuente Autor

Como se puede observar en la tabla anterior, los usuarios proyectados para el quinto año son 463, por lo que el diseño se lo realizará para ese número de usuarios.

### **5.3. DISEÑO DE LA RED**

En este capítulo se realizará el diseño de la red Backhaul y Acceso, el estudio topográfico de la zona para la ubicación de la Troncal y las Radio Bases, la topología de la red, así como las especificaciones de los equipos a utilizar.

El diseño abarca la Red de Acceso para brindar el servicio dentro de la ciudad, y la Red Backhaul para la Interconexión entre los nodos de la Red.

#### **5.3.1. Determinación del Área de cobertura**

Con el propósito de proveer el servicio de Internet en el área urbana de la ciudad de Latacunga en la provincia de Cotopaxi se desarrolla el presente proyecto, el cual constará de una red inalámbrica con enlaces punto-punto a una frecuencia de 2.4 GHz y punto multipunto a una frecuencia de 5.8 GHz, con un nodo principal y 2 secundarios que brinden cobertura a la mayor parte de la ciudad.

Se utilizará la frecuencia de 2.4 GHz para los enlaces punto-punto porque es una banda no licenciada y tiene mayor tolerancia a obstáculos, para los enlaces punto a multipunto se utilizará la frecuencia de 5,8 GHz también porque no se necesita licencia, presenta menos interferencia que proviene de otras fuentes con lo que puede trabajar a mayores velocidades, la señal es más limpia ya que tiene menos interferencia que la banda de 2.4 GHz y más canales que pueden ser utilizados.

Datos relevantes de la ciudad de Latacunga:

Creación	25 de Junio de 1824
Cabecera Cantonal:	Latacunga
Extensión:	1377,2 Km <sup>2</sup>
Población:	176842 habitantes al año 2010
Altitud:	2850 msnm
Clima:	Templado y Frio

Temperatura Media: 13 °C

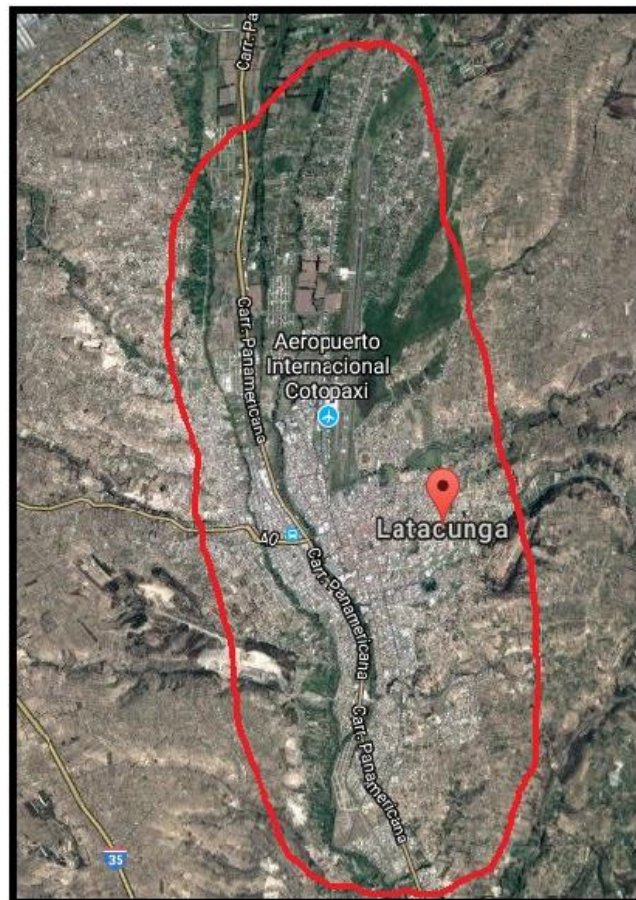
Precipitación Anual: De 500 a 1000 mm

Las Parroquias Urbanas son 5: Eloy Alfaro, Ignacio Flores, Juan Montalvo, La Matriz y San Buenaventura.

Las Parroquias Rurales son 10: Aláquez, Belisario Quevedo, Guaytacama, José Guango Bajo, Mulaló, 11 de Noviembre, Poaló, San Juan de Pastocalle, Tanicuchi y Toacazo.

Latacunga está ubicada en el centro del Ecuador a 99 Km de Quito y a 335 Km de Guayaquil, es el punto de enlace entre Costa, Andes y Amazonia.

En la figura 19 se muestra el área de la ciudad de Latacunga donde se brindará cobertura con el servicio de internet.



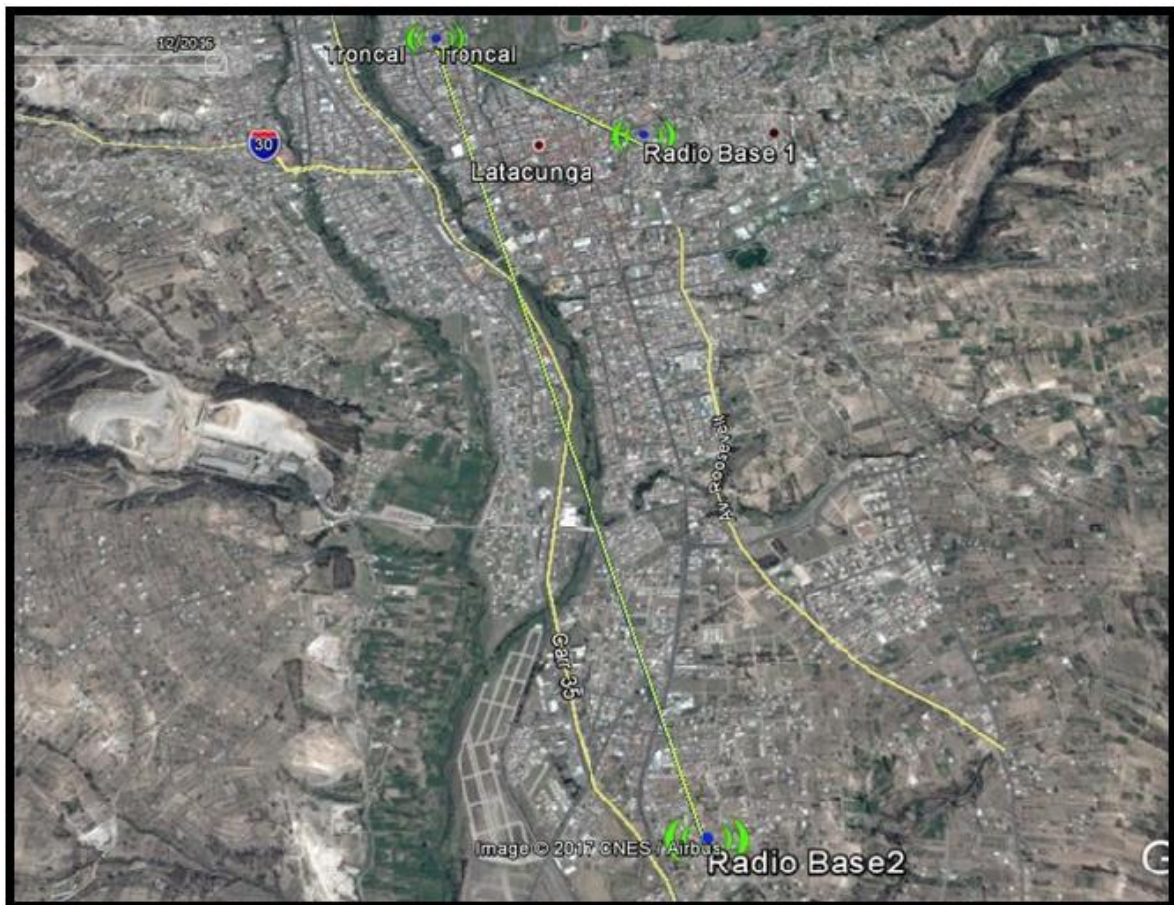
**Figura 19.** Área de cobertura

Fuente Autor

### 5.3.2. Análisis topográfico

En base a la Topología de la ciudad de Latacunga y para dar cobertura a la zona delimitada en este proyecto, se determinó que se deben ubicar dos radio bases y un nodo principal o troncal utilizando topología estrella como se muestra en la figura 20.

Para llegar a esta conclusión, primero se estableció el lugar en donde estaría ubicado el nodo principal, desde este se podía dar cobertura a una pequeña zona aledaña, por lo que se buscó un sitio de mayor altura para instalar una radio base que brinde mayor cobertura, se ubicó el sitio en una elevación llamada El Calvario, desde donde se observa a la mayor parte de la ciudad, a excepción de la parte sur, por lo que se buscó un lugar alto en el mencionado sector para instalar la radio base que preste el servicio a esta zona.



**Figura 20.** Ubicación de Radio Bases y Nodo Principal

Fuente Autor



### 5.3.3. Ubicación de Nodos

En la tabla 9 se detalla la ubicación de los nodos, se eligieron estos puntos para la ubicación de las radio bases después de analizar diferentes lugares que permitan dar cobertura a todo el casco urbano de la ciudad de Latacunga.

En el nodo principal estará ubicada la oficina desde la cual se realizará la administración de la red.

**Tabla 9.** Ubicación de nodos

Nombre	Latitud	Longitud
Nodo Principal	0°55'31,4" S	78°37'15,4" O
Radio Base1	0°55'54,9" S	78°36'41,4" O
Radio Base2	0°57'43,5" S	78°36'37,3" O

Fuente Autor

Cada radio base estará ubicada en un sector desde donde se tiene línea de vista para cubrir el sector aledaño y cuenta con las facilidades de acceso e infraestructura para la instalación de los equipos y antenas.

### 5.3.4. Selección de Equipos

El diseño de un sistema de radio comunicaciones comienza con el cálculo del enlace. Para ello se debe conocer la banda de frecuencias, las características climáticas de la zona y las especificaciones técnicas de los equipos de radio: potencia de transmisión, ganancia de las antenas, sensibilidad del receptor, tasa de error, disponibilidad, etc. Este cálculo de enlace del sistema constituye una primera estimación teórica que deberá verificarse tras la instalación de los equipos. La utilización de aplicaciones informáticas de simulación con cartografías digitales del terreno constituye una potente herramienta de ayuda en la planificación. Valiéndose de las mismas es posible determinar las mejores localizaciones para instalar las antenas y estimar su alcance y cobertura.[25]

En el mercado existen varios fabricantes de equipos para redes de telecomunicaciones basados en el estándar WiMAX 802.16, que permite operar en bandas no licenciadas o de uso libre, lo que es un requisito muy importante para el desarrollo de este proyecto ya que reducirá los costos de implementación.

Entre los fabricantes de tecnología WiMAX compatibles con las pautas indicadas por el Network Working Group en WiMAX Forum se tiene; Motorola, Siemens, Alcatel-Lucent, Alvarion, Siemens, Airspan, Aperto Network entre otros.

#### 5.3.4.1 Equipamiento de la Red de Acceso

Para seleccionar los equipos de la red de acceso se tomó en cuenta los fabricantes que se indican en la tabla 10.

**Tabla 10.** Fabricantes de equipos WiMAX [26][27][28]

FABRICANTE	ALVARION	ALBENTIA	AIRSPAN
Características	BreezeACCESS	LNK-LU-350	MicroMax
Banda de Frecuencia (GHz)	902-927 MHz, 4.9-5.1 GHz, 5.15-5.35 GHz 5.47-5.725 GHz, 5.725-5.875 GHz	5.15-5.915 GHz	700 MHz, 1.4, 1.5, 1.9, 2.3, 2.5, 2.7, 3.3-3.8 TDD/FDD, 4.9-5.95 GHz
Ancho de Canal (MHz)	10, 20 MHz (4.9, 5.15-5.875 GHz)	40, 20 MHz	10, 5, 3.5, 3, 2.75, 2.5, 1.75, 1.5 MHz
Potencia de Transmisor (dBm)	21 dBm	23 dBm	22 dBm in 4.9-5.95 GHz
Ganancia de la Antena (dBi)	16 dBi	23 dBi	14.5 dBi para operaciones a 5.1 GHz y 5.4 GHz 16 dBi en antenas que operan a 5.8 GHz
Sensibilidad del receptor (dBm)	- 48 dBm	- 94 dBm / - 72 dBm	- 103 dBm
Modulación	BSK, QPSK, 16 QAM Y 64QAM	BSK, QPSK, 16 QAM Y 64QAM	64 QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK
EIRP Máximo por sector	16 dBm		44 dBm
Método de duplexación	TDD	TDD	TDD, FDD

Observando la tabla 10 y comparando características como son la potencia de transmisión, ganancia de la antena, sensibilidad del receptor y bandas de frecuencia, se escogió al fabricante Airspan con su producto MicroMax.

La potencia de transmisión que entrega el equipo MicroMAX es de 22 dBm, la sensibilidad del receptor es de -103 dBm, la ganancia de la antena a 5.8 GHz es de 16 dBi, estos parámetros permitirán elegir al equipo Micromax sobre los demás.

Por lo que para el equipamiento de la red de acceso se utilizará la estación Base MicroMAXd (BSR, por sus siglas en inglés) de Airspan que está basada en la tecnología WiMAX fija 802.16. Tiene un diseño modular, dentro de la arquitectura posee una unidad Indoor y otra Outdoor.

La unidad Outdoor generalmente se la denomina Estación Base de Radio (BSR), se la puede observar en la figura 21, esta incorpora un radio y un módem de banda base único.

Dicha unidad tiene dos variantes en cuanto a antenas, una con antena integrada de 60° y otra con un tipo de conector N que permite la conexión de una antena externa y de esta manera

lograr varios esquemas de sectorización, incluyendo la antena omnidireccional de 360 grados.[29]



**Figura 21.** MicroMAXd [29]

Por otro lado la Unidad Indoor que tiene dos posibilidades de diseño, la unidad de distribución de la estación base (BSDU por sus siglas en inglés), y la unidad compacta Indoor para un BSR único llamado Adaptador de Datos del Suscriptor (SDA-4S por sus siglas en inglés). La denominación “4S” significa que cuenta con 4 interfaces de usuario para conectar la estación base al backbone y backhaul (a través de dispositivos de terceros, como un conmutador de MPLS, Router IP, Wireless Backhaul) y de otras unidades en cascada SDA-4S, esta unidad se la puede observar en la figura 22.



**Figura 22.** SDA-4 [30]



En la tabla 11 se muestran las características técnicas de la estación base MicroMAXd que será utilizada en el diseño.

**Tabla 11.** Especificaciones técnicas de la Estación Base MicroMAXd [29]

Especificaciones técnicas de la Estación Base MicroMAXd	
Estándar	IEEE 802.16-2004
Banda de Operación	5.1 GHz, 5.4 GHz, 5.8 GHz, 5.9 GHz
Ancho de Banda del canal	10 MHz, 5 MHz, 3.5 MHz, 1.75 MHz
Potencia de transmisión	+22 dBm
Ganancia de la antena	14.5 dBi para operaciones a 5.1 GHz y 5.4 GHz
	16 dBi en antenas que operan 5.8 GHz
Sensibilidad del receptor	- 103 dBm
Método de Duplexación	TDD, FDD
EIRP Máximo por sector	44 dBm
Modulación	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK

Para el equipamiento de los otros componentes de la red de acceso se utilizarán equipos de la misma marca es decir Airspan para tener compatibilidad, además se analizarán los mismos parámetros utilizados en la selección del MicroMAXd.

#### **5.3.4.2. Equipamiento para el suscriptor o estación de usuario CPE**

Para el equipamiento en las terminales de usuario CPE se emplearán equipos EasyST, ProST y MiMAX USB del mismo fabricante que la Estación Base Airspan, La versión EasyST que se observa en la figura 24, está diseñada para entornos indoor mientras que la versión ProST que se observa en la figura 23, para entornos outdoor, la versión MiMAX que se observa en la figura 25, es para equipos portátiles, el router Wi-Fi estará destinado a dar servicio en la red interna del cliente.



**Figura 23.** Terminal suscriptora ProST[31]



**Figura 24.** Estación Suscriptora EasyST[31]



**Figura 25.** Estación suscriptora MiMAX USB [31]



**Figura 26.** Router WiFi TPLINK [32]

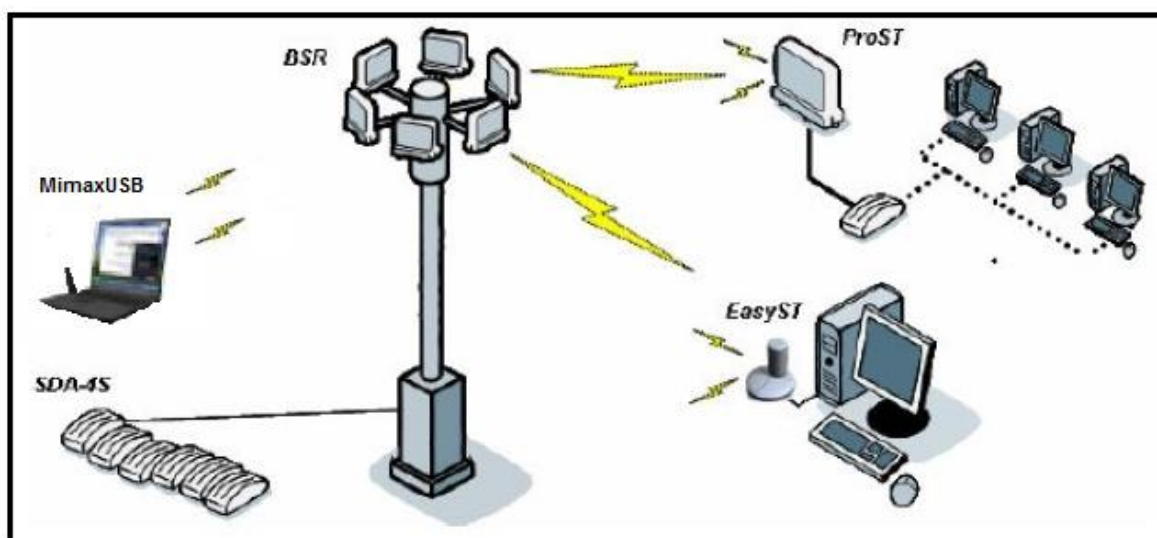
En la figura 26 se observa el router que será instalado a los usuarios para que se despliegue una red inalámbrica en el interior de sus domicilios.

En la tabla 12 se muestran las especificaciones técnicas de los equipos ProST y Easy Prost, que serán instalados a los usuario.

**Tabla 12.** Especificaciones técnicas de ProST y Easy Prost [31]

Especificaciones técnicas de la Equipos EasyST y ProST	
Estándar	IEEE 802.16-2004
Banda de Operación	1.5 GHz, 3.3 GHz, 3.5 GHz, 3.7 GHz, 4.9 GHz. 5.1 GHz, 5.4 GHz, 5.8 GHz, 5.9 GHz
Ancho de Banda del Canal	10 MHz, 5 MHz, 3.5 MHz, 7 Mhz, 1.75 MHz
Potencia de transmisión	+22 dBm
Ganancia de la antena	17 dBi
Sensibilidad del receptor	- 103 dBm
Método de Duplexación	TDD, FDD
EIRP Máximo por sector	44 dBm

En la figura 27 se observa un esquema de la instalación típica de una estación Base del tipo MicroMAXd con SDAs.



**Figura 27.** Instalación de la estación base MicroMAXd con SDAs[33]

### 5.3.4.3. Equipamiento para los enlaces Backhaul

Para la red Backhaul se utilizarán equipos de la misma marca Aispan, se tiene dos alternativas que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 13.**Características de los equipos Backhaul [34]

Equipo	Flexnet ASN-700	Flexnet ASN-900
Frecuencia (GHz)	5.725-5.850	2.4-2.4835 y 5.725-5.850
Ganacia de la Antena (dBi)	23 (antena Unica)	30 (doble antena)
Potencia de Transmisión (dBm)	20	21
Sensibilidad del receptor (dBm)	-73	-74
Modulación	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK
Interfaces	1 Ethernet (10/100 Base-T)	2 Ethernet (10/100 Base-T)

Como se observa en la tabla 13 las prestaciones del equipo Flexnet ASN-900 son superiores en cuanto a frecuencia dual, antenas e interfaces Ethernet, por lo que se selecciona para el diseño de la red de backhaul, en la figura 28. se muestra el equipo



**Figura 28.**Equipo Flexnet ASN-900 [34]

### 5.3.5. Enlaces Backhaul

A continuación se realizarán los enlaces desde la Troncal a las dos radio bases ubicadas en las coordenadas indicadas en la Tabla 14.

**Tabla 14.** Ubicación de nodos

Nombre	Latitud	Longitud
Nodo Principal	0°55'31,4" S	78°37'15,4" O
Radio Base1	0°55'54,9" S	78°36'41,4" O
Radio Base2	0°57'43,5" S	78°36'37,3" O

Fuente Autor

Como se indicó anteriormente se eligieron estos puntos para la ubicación de las radio bases después de analizar diferentes lugares que permitan dar cobertura a todo el casco urbano de la ciudad de Latacunga, se enlazarán a una frecuencia de 2.4 GHz.

Cada radio base estará ubicada en un punto desde donde se tiene línea de vista con el nodo principal y se pueda dar cobertura a los sectores aledaños, además cuenta con las facilidades para la instalación de los equipos y antenas.

Para la realización de estos enlaces se utilizó la herramienta radio mobile, la cual es utilizada para analizar y planificar el funcionamiento de un sistema de radiocomunicaciones fijo o móvil. Este software emplea mapas digitales con datos de elevación del terreno, junto con los datos de las estaciones de radiocomunicación y algunos algoritmos, que desarrollan modelos de propagación radio, para obtener los niveles de señal en distintos puntos de un trayecto (junto con el perfil del trayecto entre emisor y receptor), utilizable para el cálculo y diseño de radioenlaces o bien la cobertura sobre una zona determinada para el análisis y la planificación de comunicaciones móviles.

Los datos de elevación se utilizan para elaborar mapas virtuales en relieve (en escala de grises, de colores, rayos X...). El programa también proporciona vistas en 3D, estereoscópicas y animación. Se puede superponer una imagen en relieve con otro mapa escaneado, foto de satélite, etc. [35]

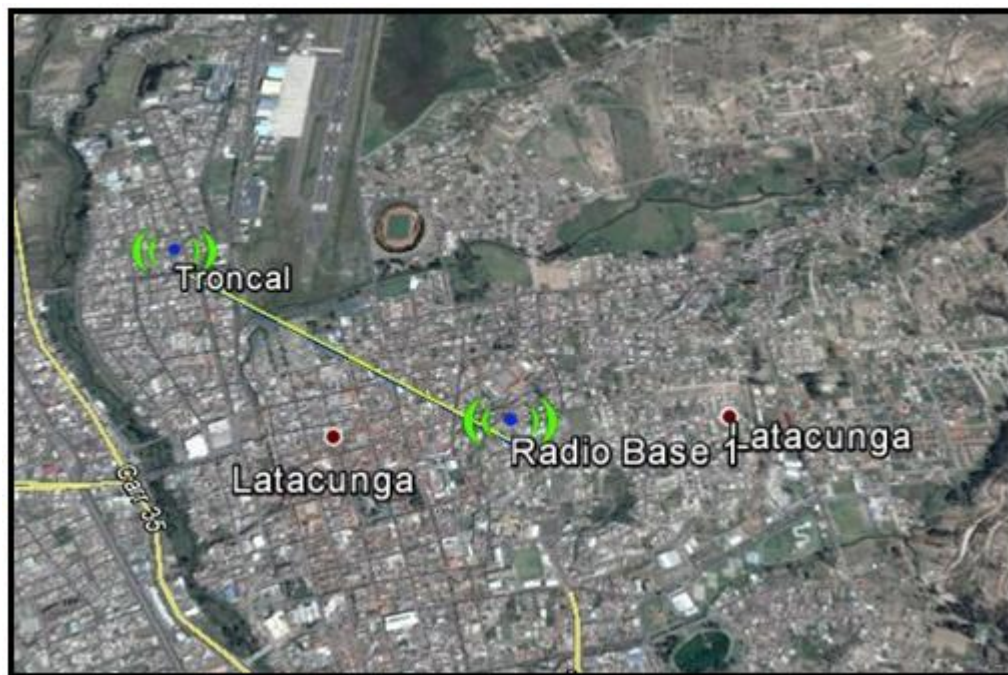
Luego de esto se procede a definir las características de la interfaz radioeléctrica de los equipos FlexNet ASN-900, tipo de antena y altura de torre entre otras. Los dos enlaces definidos para la Red de Backhaul WiMAX poseen las mismas características en relación con equipos de enlace punto a punto. Los parámetros tomados de la tabla 15 que se ingresarán al Radio Mobile son:

**Tabla 15.** Parámetros de equipo para el ingreso a Radio Mobile

Parámetro	Valor
Frecuencia (GHz)	2.4
Ganacia de la Antena (dBi)	30
Potencia de Transmisión (dBm)	21
Sensibilidad del receptor (dBm)	-74
Pérdidas por cable (dBm/m)	0.1

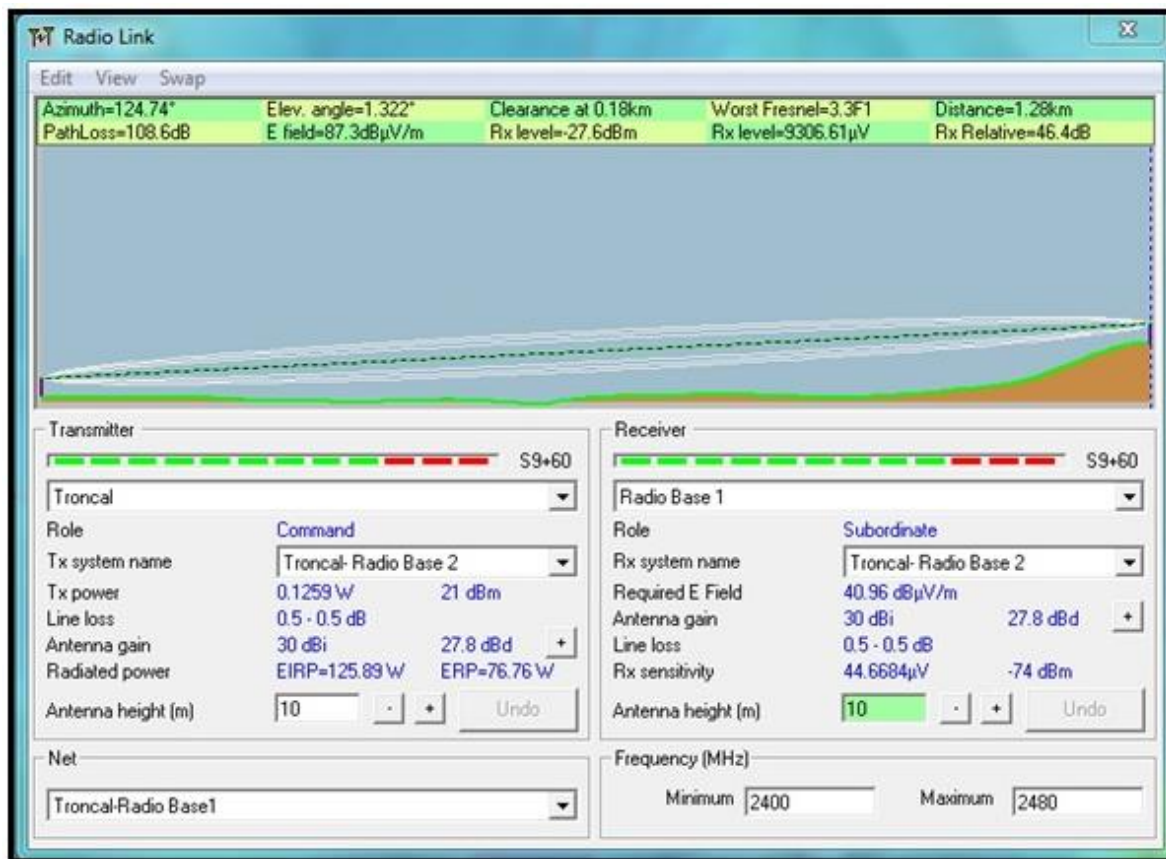
#### 5.3.5.1. Enlace Troncal Radio Base1

El Nodo Principal se encuentra ubicado en la Calle Benjamín Terán y Amazonas, al Centro Norte de Latacunga y la Radio base 1 se encuentra ubicada en el sector de El Calvario que es una pequeña elevación de la cual se observa a casi toda la ciudad de Latacunga.



**Figura 29.** Ubicación del Radio Enlace Troncal-RB1 en Google Earth





**Figura 30.** Enlace Troncal-Radio Base 1

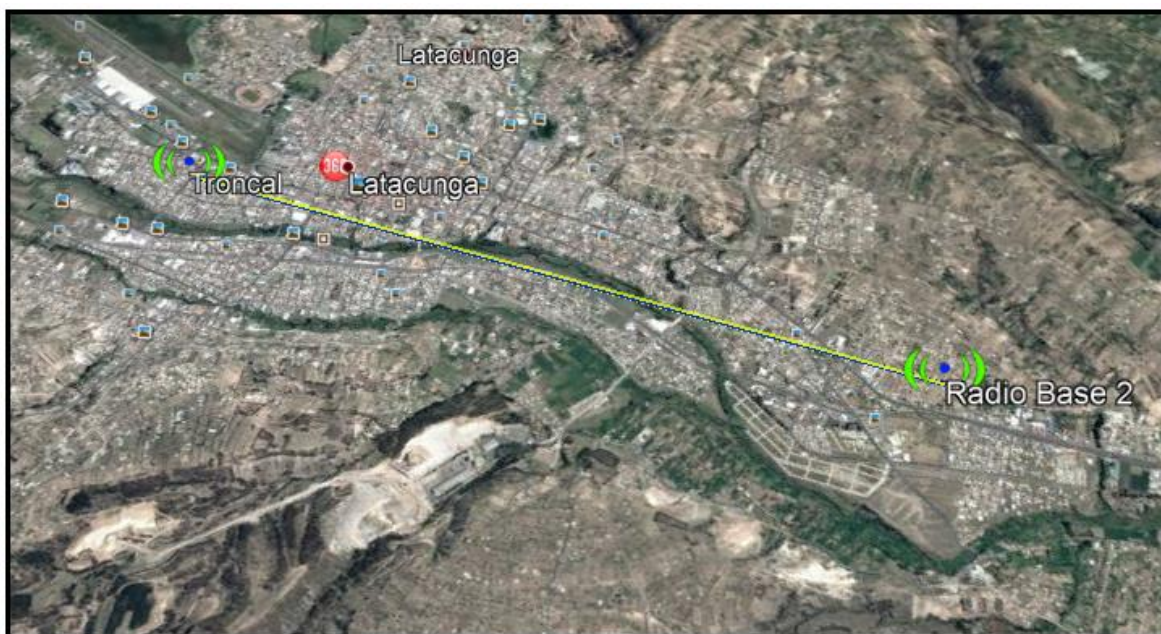
De los resultados obtenidos se puede apreciar en la figura 30 que se tiene despejada la primera zona de Fresnel indicado por el parámetro WorstFresnel de 3.3F1, que es mayor al recomendado de 0.6F1, ya que la obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción en un radio enlace es del 40% de la primera zona de Fresnel.

Observando el parámetro Rx level= -27dBm de la figura 30, representado en micro voltios se tiene que Rx level= 9306,61 μV, además la sensibilidad del equipo Flexnet ASN-900 es de -74dBm que corresponden a 45 μV, comparando los dos resultados se concluye que si se puede realizar el enlace pues la potencia que ingresa es mayor al de la sensibilidad del equipo.

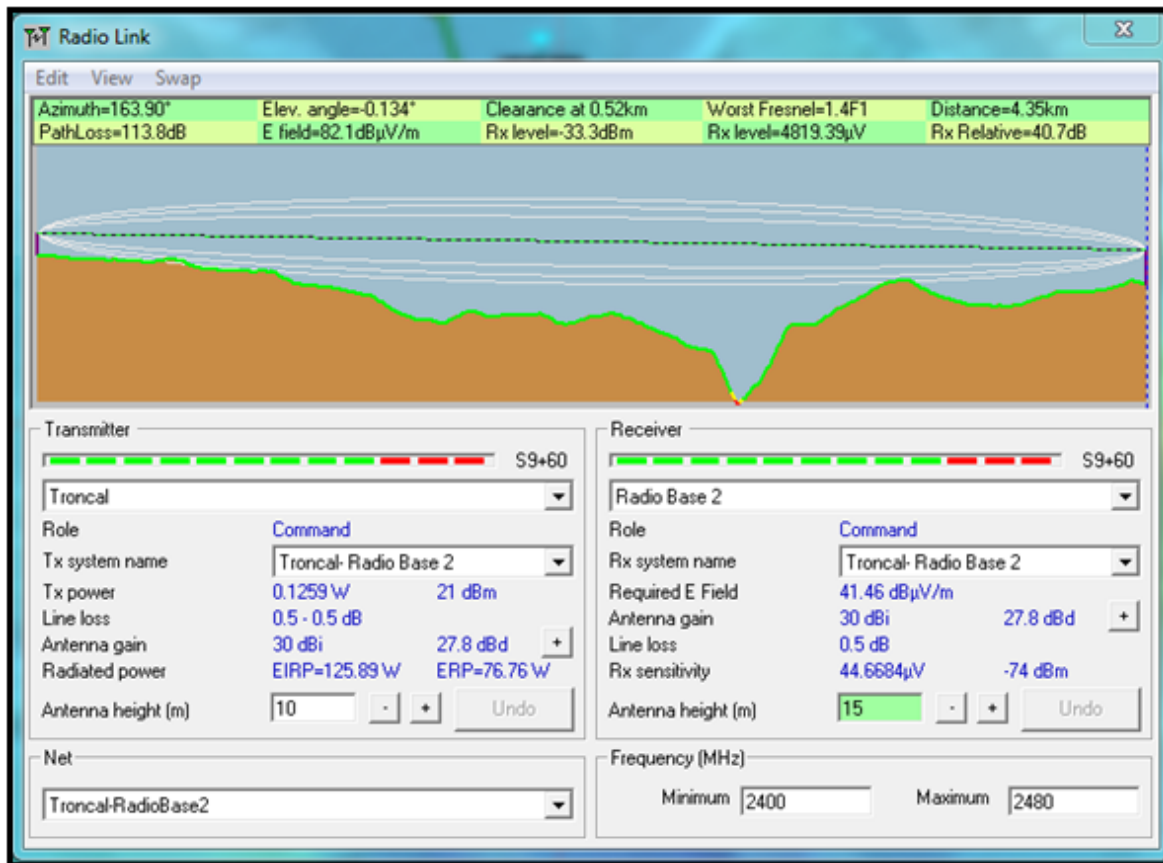


### 5.3.5.2. Enlace Troncal Radio Base2

La radio base 2 se encuentra en la parte alta del sector del Niágara al Sur de la ciudad, se observa en la figura 31.



**Figura 31.** Ubicación del Radio Enlace Troncal-RB2 en Google Earth.



**Figura 32.** Enlace Troncal-Radio Base 2

De la misma manera que en el enlace anterior, de los resultados obtenidos se puede apreciar en la figura 32 que se tiene despejada la primera zona de Fresnel indicado por el parámetro WorstFresnel de 1.4F1, que es mayor al recomendado de 0.6F1, valor con el que se considera que un enlace es confiable.

Tomando en cuenta el parámetro Rx level=-33,3dBm, figura 32, representado en micro voltios se tiene que Rx level= 4819,39 μV, por otro lado la sensibilidad del equipo Flexnet ASN-900 es de -74dBm que corresponden a 45 μV, comparando los dos resultados se puede afirmar que el enlace es factible pues la potencia que ingresa es mayor al de la sensibilidad del equipo.

### 5.3.6. Área de Cobertura de la red de Acceso

El nodo principal de la red WiMAX tendrá la función de administrador y estará ubicado en la Av. Benjamín Terán y Amazonas, en este nodo también se instalará una radio base que dará servicio a los usuarios de la zona centro norte de Latacunga, las otras dos radio base darán cobertura al resto de la ciudad.

Con el objetivo de comprobar que con las estaciones base definidas se cubre el área objetivo, se procedió a seleccionar 8 posibles clientes en el borde del área de cobertura, se realizarán radio enlaces a cada cliente de prueba y si se obtiene resultados positivos se podrá verificar que los clientes dentro de la zona de cobertura tendrán servicio.

Para esto se ingresarán al radio mobile las características técnicas de la radio base (BSR) y las estaciones de Usuario (CPE), estos parámetros fueron tomados de las tablas con las características de los equipos indicadas anteriormente.

**Tabla 16.** Especificaciones técnicas de Cliente/Radio Base

Cliente/Radio Base	
Parámetro	Valor
Frecuencia (GHz)	5.8
Ganacia de la Antena (dBi)	16
Potencia de Transmisión (dBm)	22
Sensibilidad del receptor (dBm)	-103
Pérdidas por cable (dBm/m)	0.1

Fuente Autor

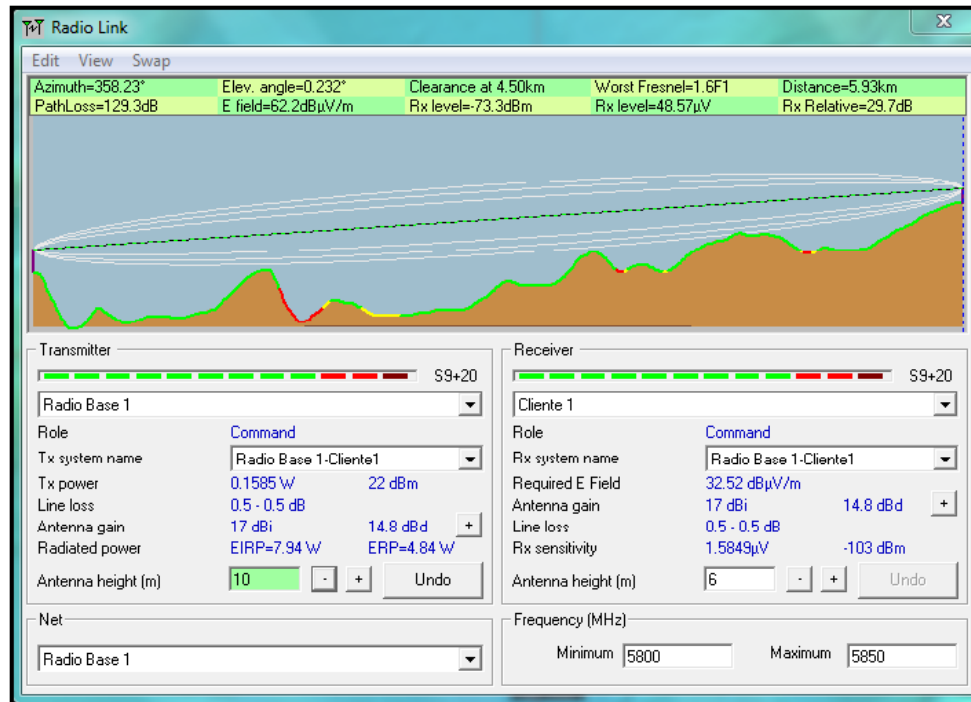
En la siguiente Tabla se indican las coordenadas de los Clientes de borde.

**Tabla 17.** Coordenadas de los clientes de borde

Cliente	Coodernada
1	-0.878606, -78.613159
2	-0.93125, -78.629982
3	-0.980708, -78.604973
4	-0.898779, -78.628624
5	-0.956003, -78.62278
6	-0.901548, -78.600624
7	-0.936005, -78.598473
8	-0.95508, -78.597549

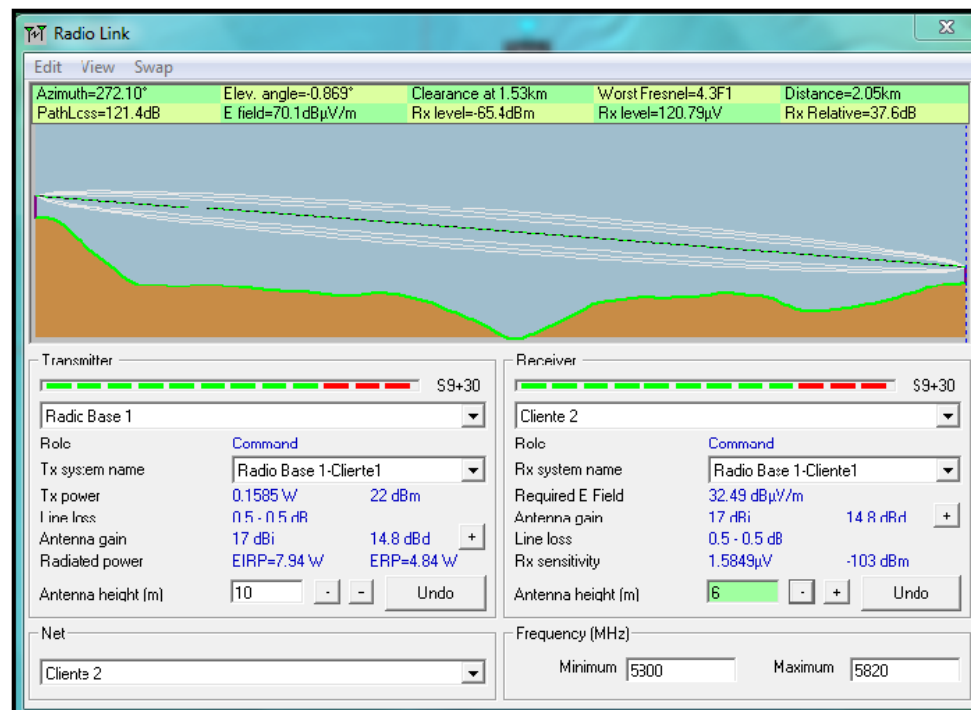
Fuente Autor

- Radio Base1- Cliente 1



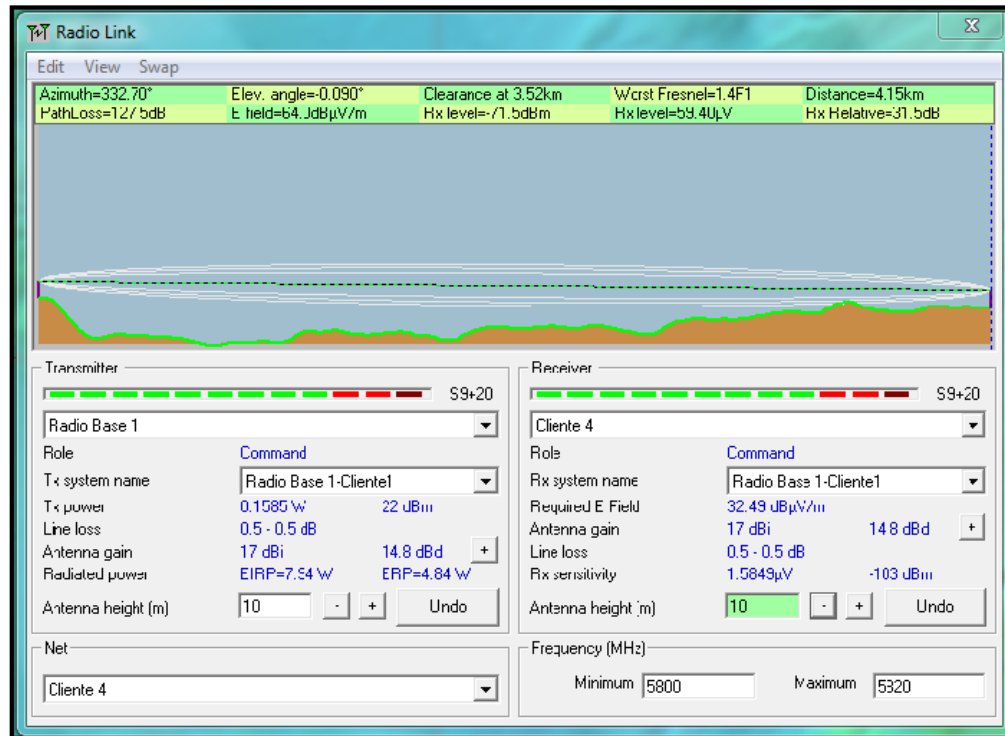
**Figura 33.** Enlace Radio Base1- Cliente1

- Radio Base 1 cliente 2



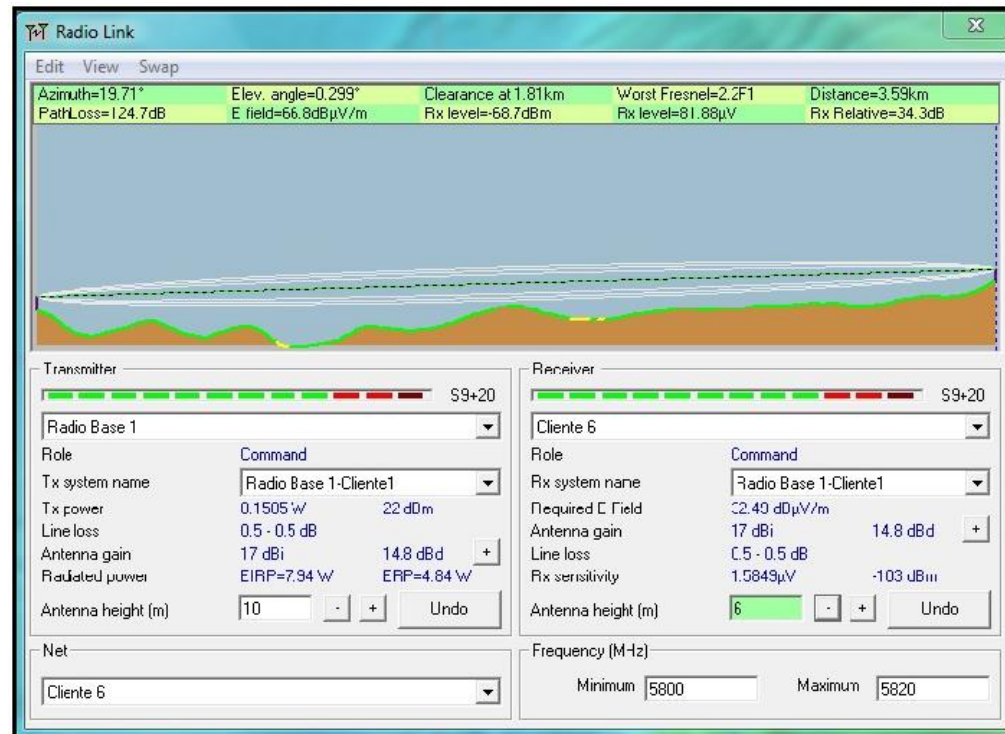
**Figura 34.** Radio Base 1 cliente 2

- Radio Base 1 Cliente 4



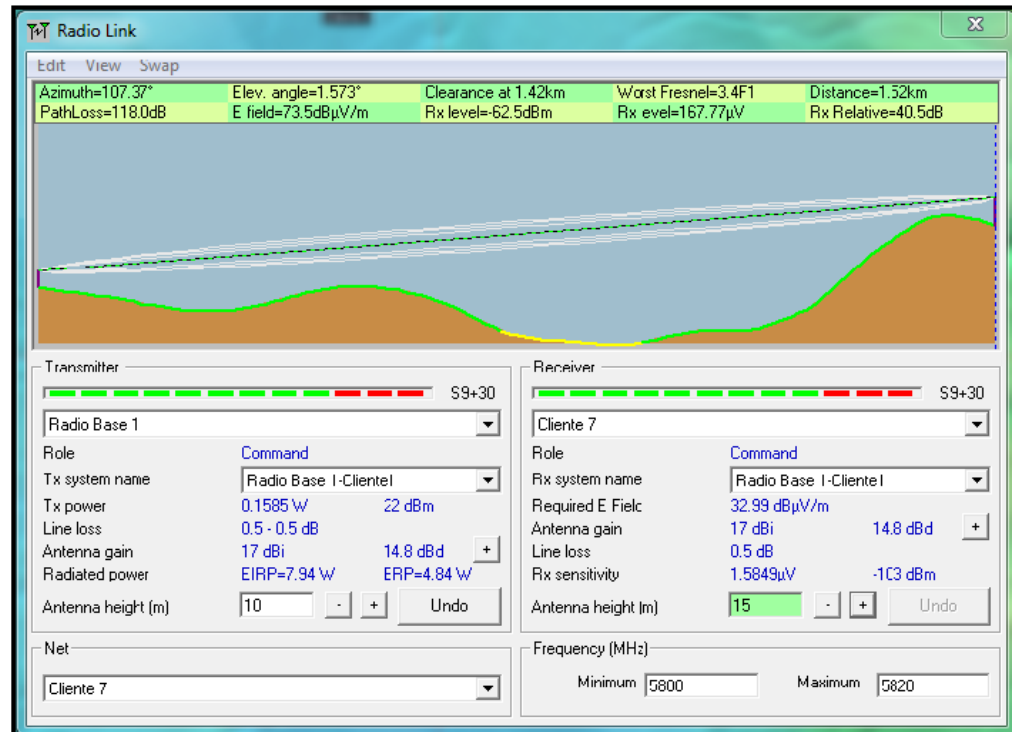
**Figura 35.** Radio Base 1 Cliente 4

- Radio Base1-Cliente 6



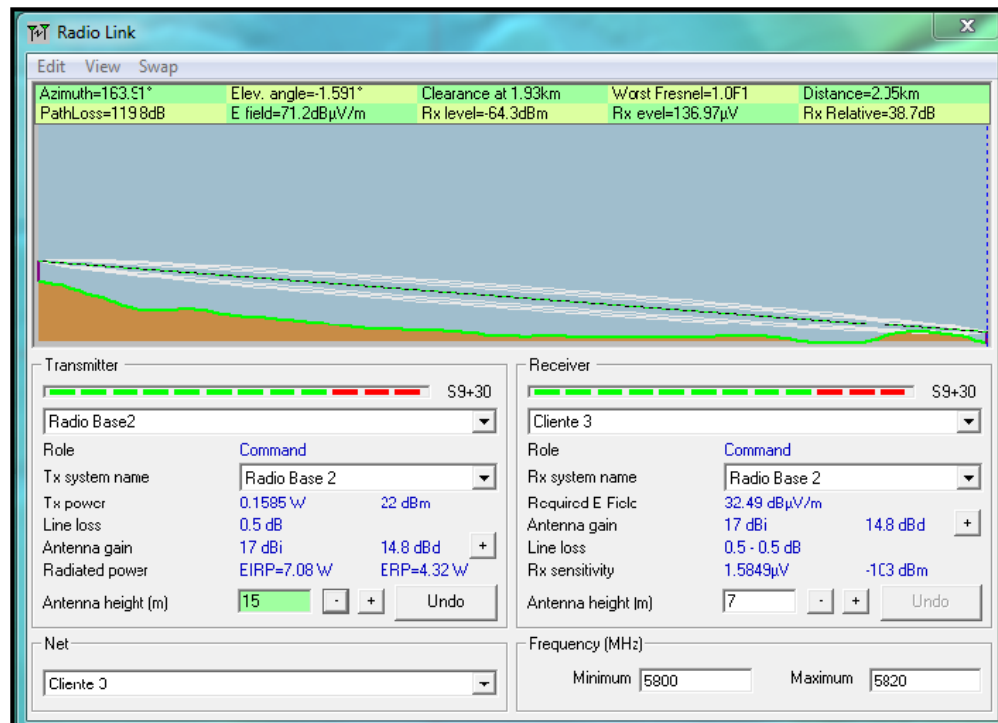
**Figura 36.** Radio Base1-Cliente 6

- Radio Base1- Cliente 7



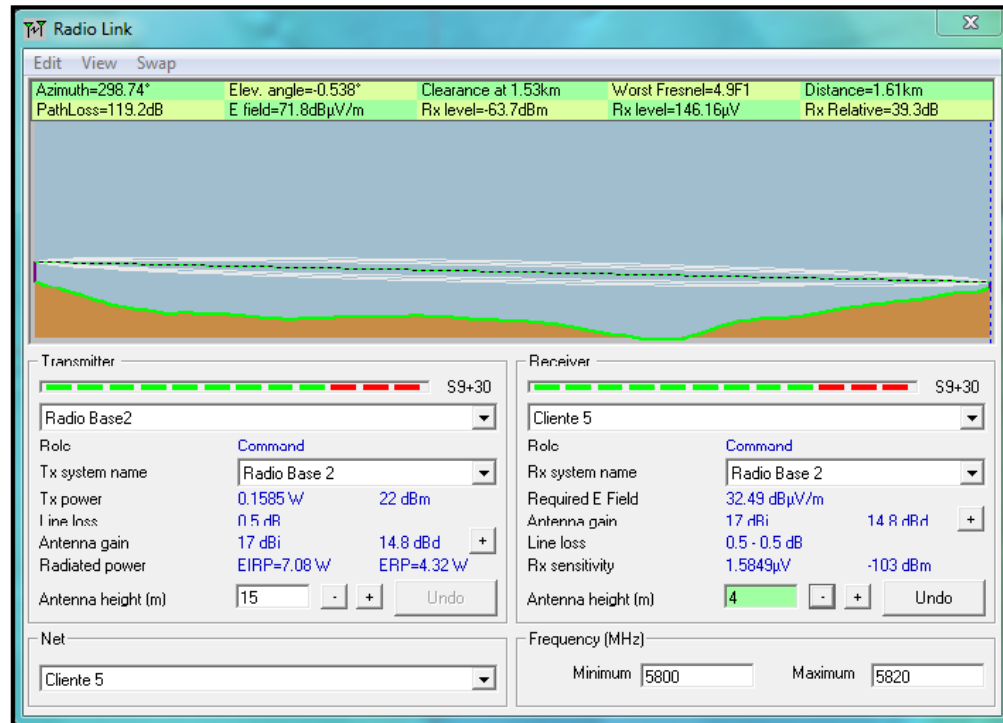
**Figura 37.**Radio Base1- Cliente 7

- Radio Base 2 –Cliente 3



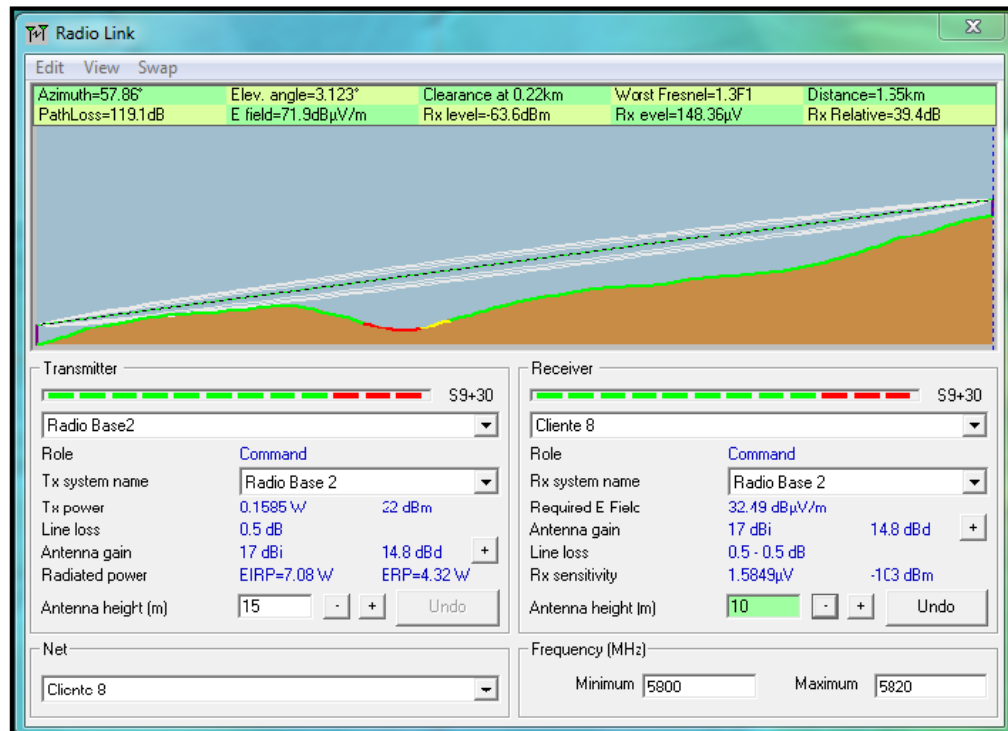
**Figura 38.** Radio Base 2 –Cliente 3

- Radio Base2- Cliente 5



**Figura 39.** Radio Base2- Cliente 5

- Radio Base2- Cliente 8



**Figura 40.** Radio Base2- Cliente 8



Dado que los perfiles topográficos realizados para cada uno de los clientes, presentan línea de vista directa y sin obstáculos en la primera zona de Fresnel y que se tiene niveles de recepción que permiten efectuar un radio enlace, se puede indicar que en la zona urbana delimitada los usuarios tendrán cobertura.

Teniendo un diagrama general de enlaces con los clientes que se presenta en la figura 41.

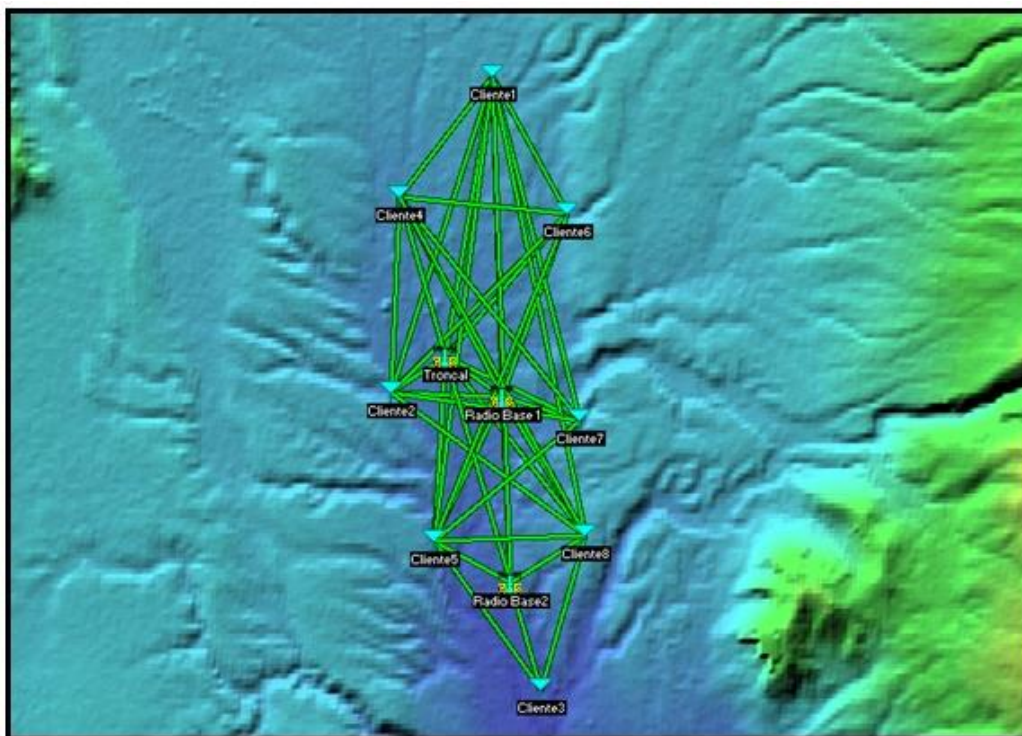


**Figura 41.** Enlaces clientes

Los enlaces en amarillo corresponden a los enlaces punto a punto que operan en 2,4Ghz, hacia las radio bases. Los enlaces en rojo son los enlaces multipunto de distribución que operan en 5,8 GHz, hacia los clientes finales.

Como se puede apreciar en la figura 42, se tendrá toda la zona objetivo cubierta, lo cual permitirá conectar los clientes que se encuentren en cualquier lugar de la zona urbana de Latacunga.

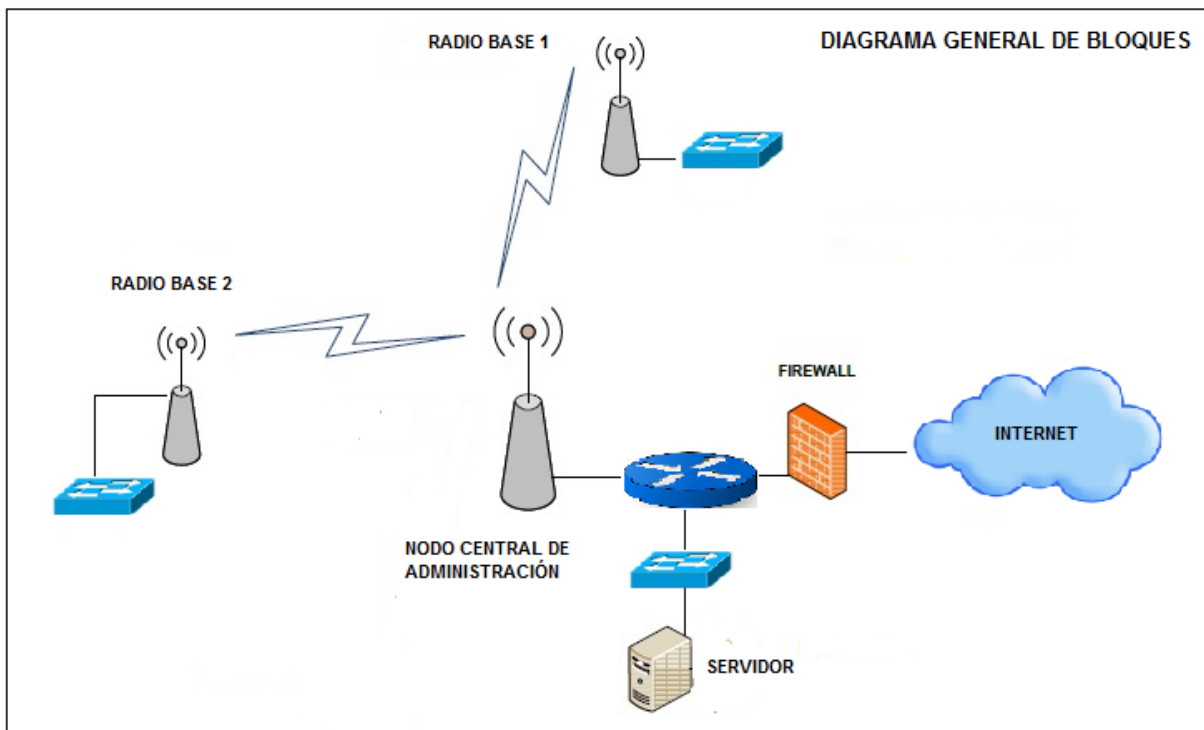




**Figura 42.** Área objetivo cubierta

### 5.3.7. Diseño Final de la Red

Como se mencionó anteriormente la topología de red que se utilizará es en estrella, tomando como referencia esta topología se ha procedido al diseño general de bloques de la red de backhaul y nodo de gestión que se observa en la figura 43. Este consta de los equipos de comunicaciones necesarios para la interconexión de los nodos, equipos de conexión con las estaciones base, los equipos de conmutación y enrutamiento así como el servidor para las aplicaciones.



**Figura 43.** Diagrama General de Bloques de la Red

Fuente Autor

#### 5.3.7.1. Selección de Equipos de Red

De igual forma que para los equipos de radio seleccionados anteriormente, se seleccionarán los equipos que conformarán la red para el correcto y óptimo funcionamiento del sistema de comunicación, por lo que en este punto se realizará la selección de los siguientes componentes:

- Equipo principal de enrutamiento y gestión
- Equipo de enrutamiento en las radio bases
- Servidor para servicios (Facturación, radius, correos)

#### - **Equipo principal de enrutamiento**

A este equipo llega el carrier mediante una conexión de fibra óptica simétrico de 12 Mbps compartición 1:1, quien entregará dos direcciones IP públicas para el acceso y administración remota de la red, cumple con las funciones de firewall, servidor DHCP, monitoreo de

consumo y conexiones de usuarios, es decir realiza toda la administración de la red, también distribuye la señal de la red de datos a las antenas para que sean enviadas a las radio bases.

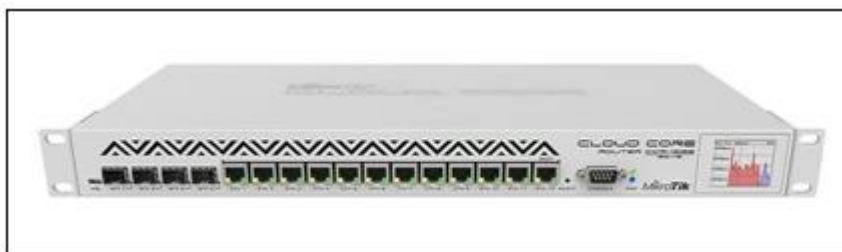
Para seleccionar el equipo de enrutamiento principal se tomaron en cuenta equipos de tres fabricantes diferentes, con similares características que se adaptan al diseño, estos equipos se indican en la Tabla 18.

**Tabla 18.** Equipos para enrutamiento principal [36][37][38]

MARCA	HP	CISCO	MIKROTIK
MODELO	HP E5500-24G-PoE	Catalyst 4500	CCR1036-12G-4S-EM
CARACTERISTICAS			
INTERFACES ETHERNET FULL DUPLEX Y CON AUTONEGOCIACIÓN	24 puertos PoE 10/100/1000	24 puertos PoE 10/100/1000	12 puertos PoE 10/100/1000
ENLACES UPLINK	4 puertos PoE 10/100/1000	4 puertos Gigabit PoE	4 puertos Gigabit
PROTOCOLO IPV4	SI	SI	SI
PROTOCOLO IPV6	SI	SI	SI
PROTOCOLO DE ENRUTAMIENTO OSPF	SI	SI	SI
PROTOCOLO BGPV4	SI	SI	SI
PROTOCOLO DE GESTIÓN REMOTA SNMP	SI	SI	SI
MEMORIA RAM	64MB	512MB	16GB
MEMORIA FLASH	18MB	128MB	1GB
CONSUMO POTENCIA	700W	384W	60W
PRECIO REFERENCIAL	1455	4820	1133

Comparando las características como la memoria RAM, memoria FLASH, consumo de potencia y costos de los equipos se escogió el equipo CCR1036-12G-4S-EM de la marca MIKROTIK, el mismo que se observa en la figura 44.

La memoria RAM del equipo CCR1036-12G-4S-EM es de 16 GB, consumo de potencia es de 60 W, memoria flash de 1 GB, el costo de este equipo es de 1133 dólares, por estas características se seleccionó el equipo.



**Figura 44.** Router Mikrotik CCR1036-12G-4S-EM [36]

Desde este equipo se realizará todo el proceso de gestión de la red, ancho de banda, firewall y administración de la red WiMAX.

El equipo puede manejar una demanda de muchos millones de paquetes por segundo, trabaja sobre RouterOS, un sistema operativo con todas las funciones de enrutamiento que se ha mejorado de forma continua durante 15 años. El enrutamiento dinámico, punto de acceso, firewall, MPLS, VPN, calidad de servicio avanzada, balanceo de carga, configuración y monitoreo en tiempo real.

El dispositivo viene en un 1U para montaje en Rack, tiene cuatro puertos SFP Gigabit, doce puertos Ethernet, un cable de consola serie y un puerto USB. Tiene dos ranuras SODIMM DDR3, de forma predeterminada trae incluido 4 GB de RAM, pero no es el límite de memoria en RouterOS (soporta 16GB o más).

#### - **Equipo de enrutamiento de las radio bases**

Para la interconexión de la red de backhaul y acceso WiMAX en las radio bases se utilizará un switch marca Mikrotik modelo RouterBOARD 260G-S5 port Smart Gigabit Switch SwOS, este equipo cuenta con puertos Gigabit Ethernet, para concentrar todo el tráfico, este equipo se observa en la figura 45.



**Figura 45.** Switch Mikrotik 260G-s [39]

El Mikrotik RB260GS cuenta con cinco puertos Gigabit Ethernet y un conector SPF, su sistema operativo fue diseñado específicamente para Mikrotik SwSO, se puede configurar desde la Web, ofrece todas las funciones básicas de un switch administrable, además aplica filtro de MAC, configura redes Vlan, permite la gestión port-to-port forwarding, mirror traffic, aplica límites de ancho de banda e incluso ajusta algunas cabeceras de direcciones MAC e IP.

- **Servidor para servicios (Facturación, radius, correos)**

Se instalará un servidor que prestará los siguientes servicios de red:

- **Soporte RADIUS:** El Protocolo de servicio de usuario de acceso telefónico de autenticación remota (RADIUS) fue desarrollado orientado a la autenticación de los diferentes tipos de clientes mediante el uso de contraseñas. Con base a esto se controlará y mantendrá la base de datos de los clientes y sus diversas configuraciones. Así como también la base contable y sistema de facturación.
- **Correos:** Básicamente con soporte a dos tipos de protocolo el POP3 y SMTP para el manejo y almacenamiento de correo entrante y saliente. Además es un sistema de bloqueo de spam y filtrado de correo.
- **DNS y Web:** Dirigido a soportar y almacenar el tráfico proveniente de la navegación en Internet. Las capacidades DNS para resolver y recibir las diferentes peticiones de nombre de dominio.  
Este servidor utilizará software libre, específicamente Linux, en la figura 46 se presenta el equipo que se utilizará:



**Figura 46.** Servidor HP ProLiant DL160 Server Basic SAS [40]

### 5.3.7.2. Equipamiento Final

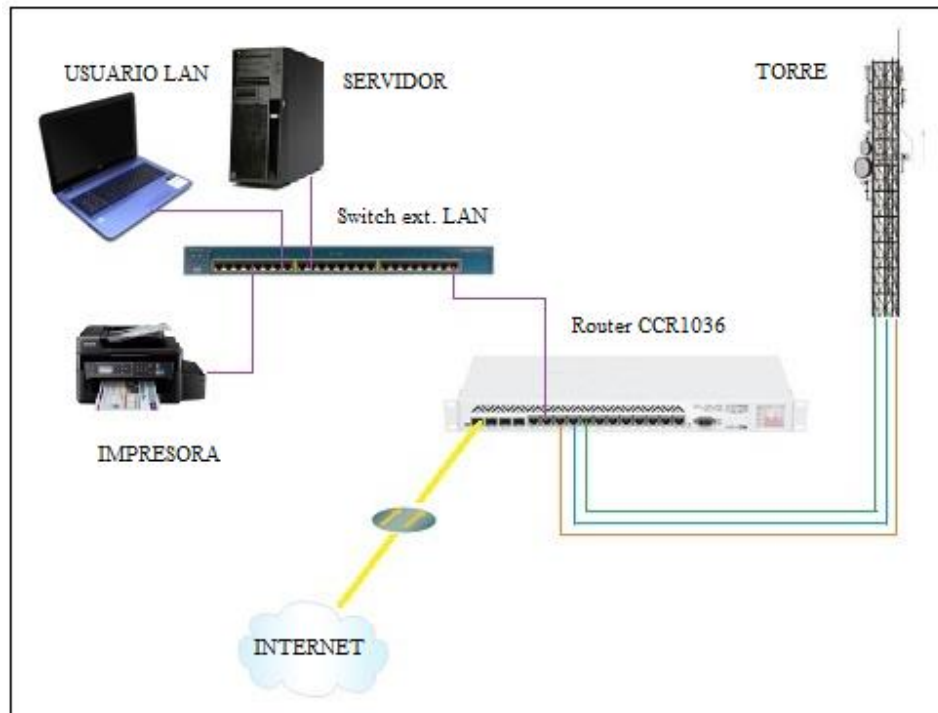
Después de haber descrito cada uno de los equipos con sus respectivas características, a continuación se detallará el equipamiento final.

- **Equipamiento del nodo Principal**

De acuerdo a lo especificado y analizado a lo largo de este capítulo la infraestructura del nodo principal será:

- Torre de 10 m
- Pararrayos
- Una estaciones base MicroMAXd
- Un SDA
- Dos radios del sistema ASN-900
- Un servidor para rack (DNS y Web, Correo electrónico)
- Un switch de 24 puertos
- Un monitor
- Un UPS
- Un Rack

En la Figura 47 se presenta diagrama funcional del nodo Principal.



**Figura 47.** Diagrama funcional de Nodo Principal  
Fuente Autor

- **El equipamiento de los Nodos secundarios**

Los nodos secundarios o Radio Base tendrán el siguiente equipamiento:

- Torre de 15m
- Pararrayos
- Una estación base MicroMAXd
- Un SDA
- Un radio del sistema ASN-900
- Caseta de equipos
- Un switch

### **5.3.8. Ancho de banda para el servicio de internet**

Para conocer el ancho de banda total que se requiere contratar con el carrier es necesario conocer el número total de usuarios, la compartición que va a tener cada usuario (overbooking) el rendimiento throughput y la velocidad del enlace, estos tres factores determinan el cálculo de USUARIOS vs ANCHO DE BANDA.

El overbooking es la cantidad de ancho de banda asignado a un grupo de usuarios, se lo utiliza porque cuando un suscriptor navega no está utilizando todo el tiempo el canal, este tiempo sin uso lo puede aprovechar otro usuario para poder racionalizar el uso del canal, que es limitado.

El overbooking se encuentra en la escala del 1 al 15 con los siguientes rangos:

- 1 - acceso dedicado
- 5 - muy bueno (semidedicado)
- 8 – aceptable
- 10 – normal estándar
- 15 – sobreasaturado

El throughput es la capacidad real de transferencia que atraviesa por un sistema; se puede tomar un 10% como aceptable o estándar y un 15% para usuarios Premium.[41]

Para el diseño se van a crear 3 tipos de usuarios estándar Premium y VIP, con una compartición de 6:1, 4:1 y 1:1 respectivamente.

De los datos obtenidos en las preguntas 6 y 9 de la encuesta realizada, se clasificaron a los usuarios de la siguiente manera; el 70% que corresponden a los estándar, el 25% a los

Premium y el 5% a los elite, es decir que 324 usuarios estándar tendrán una compartición de 6:1, 116 usuarios Premium tendrán una compartición de 4:1 y 23 usuarios VIP tendrán una compartición de 1:1.

Se asignará 640Kbps a los usuarios estándar, 1024Kbps para los usuarios Premium y 2048Kbps para los usuarios VIP, se tomará un throughput del 10 %, teniendo 64.0 Kbps, 102.4 Kbps y 204.8 Kbps repectivamente.

La fórmula para calcular el ancho de banda total es:

Ecuación 3 [41]

$$ABw = \left( \frac{\text{throughput}}{\text{overbooking}} \right) * USUARIOS$$

Cálculo del ancho de banda de los usuarios estándar:

$$ABw = \left( \frac{64.0 \text{ Kbps}}{6} \right) * 324$$

$$ABw = 3456 \text{ Kbps}$$

Calculo del ancho de banda de los usuarios Premium:

$$ABw = \left( \frac{102.4 \text{ Kbps}}{4} \right) * 116$$

$$ABw = 2969.6 \text{ Kbps}$$

Calculo del ancho de banda de los usuarios VIP:

$$ABw = \left( \frac{204.8 \text{ Kbps}}{1} \right) * 23$$

$$ABw = 4710.4 \text{ Kbps}$$



Total ABw = 11136 Kbps

Esto significa que para dar un servicio de calidad se necesita contar con 12 Mbps dedicado para que todos tengan su ancho de banda asegurado.

### **5.3.9 Requerimientos legales**

Las señales inalámbricas utilizan el aire como medio de transmisión, es decir que se está haciendo uso del espectro electromagnético, en el país este es un recurso que, según la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, y de acuerdo a la ARCOTEL: “constituye un bien de dominio público y un recurso limitado del Estado, inalienable, imprescriptible e inembargable. Su uso y explotación requiere el otorgamiento previo de un título habilitante emitido por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones”.[42]

Los requisitos para el otorgamiento del título habilitante del servicio de valor agregado (SVA) por parte de ARCOTEL, son los siguientes:

- 1.- Solicitud General.
- 2.- “Nombres, apellidos y número de cédulas de ciudadanía o pasaporte, así como el porcentaje de acciones o participaciones, de los socios o accionistas de la compañía mercantil que sean personas naturales; y nombramiento del representante legal, para el caso en el que los socios o accionistas sean personas jurídicas”.[42]
- 3.- “Declaración juramentada del solicitante o del representante legal y de los socios, sobre vinculación”.[42]
- 4.- “En caso de personas jurídicas, la escritura de constitución, debidamente inscrita y sus modificaciones de haberlas”.[42]
- 5.- “Decreto Ejecutivo; acto normativo; escritura pública y sus modificaciones, en caso de haberlas; o la resolución de creación de la Institución o Empresa Pública, según corresponda”. [42]
- 6.- “Denominación de la empresa pública, Institución Pública o razón social o denominación, y datos de identificación de su representante legal; para personas jurídicas de derecho privado, se indicarán los datos de constitución, objeto, y socios”.[42]
- 7.- “Copia del documento de designación del representante legal debidamente inscrito ante la autoridad correspondiente, para personas jurídicas”.[42]
- 8.- “Propuesta de plan de expansión Infraestructura Física”.[42]

9.- “Proyecto técnico .Infraestructura Inalámbrica”.[42]

10.- Proyecto Técnico

- Enlaces Radioeléctricos

- Fijo por Satélite

11.- “Certificado de no afectar a los sistemas de radionavegación aeronáutica emitido por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). Para las estructuras que se encuentren dentro de un radio de 500 metros de los Sistemas Navegación Aérea se debe presentar el Certificado de no afectar a los sistemas de radionavegación aeronáutica.”.[42]

En el proyecto es importante obtener el certificado de no afectar a los sistemas de navegación aeronáutica pues el nodo principal está cerca del aeropuerto de la ciudad de Latacunga, los demás requisitos se los tramitará como persona natural.

## **5.4. ANÁLISIS DE COSTOS**

La factibilidad económica de un proyecto es importante, pues esta demostrará que la inversión que se está realizando es justificada por la ganancia que generará. Para ello es necesario trabajar con un esquema que contemple los costos y las ventas.

### **5.4.1. Inversión Inicial**

Una vez que se ha realizado el diseño y se ha determinado todo el equipamiento para que este proyecto pueda ser implementado y dé cobertura a los usuarios localizados en todo el casco urbano de la ciudad de Latacunga, se tiene que calcular la inversión inicial que debe realizarse, así como los gastos de operación por un lapso de 5 años.

Debido a la dificultad de prever la vida exacta de un proyecto, no existe una forma específica para determinarlo, sin embargo se toman en cuenta factores como el número de años en que los activos del proyecto operan normalmente, el número de años que será requerido el bien o servicio que se ofrecerá y el período de tiempo que transcurre hasta que los activos utilizados en el proceso productivo dejen de ser competitivos.

Tomando en cuenta lo anterior se suele tomar un período fijo de tiempo de 5 años para proyectos comerciales.

En la tabla 19 se muestra la lista de los equipos necesarios con sus respectivos costos.

**Tabla 19.** Inversión Inicial en equipos

INVERSIÓN INICIAL EN EQUIPOS			
CANTIDAD	EQUIPO	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
3	Estación Base Micromaxd con antena ext.	1550	4650
3	SDAs	115	345
4	Equipo de enlace Flexnet ASN 900	950	3800
463	Equipos Airspan Prost	430	199090
1	Mikrotik Clou Core Ccr1036-12g	1780	1780
2	Switch Mikrotik 260G-s	90	180
1	Switch TP Link de 24 Puerto	160	160
463	Router WIFI Tp-link TI-wr940nd	34	15742
1	HP ProLiant DL160 G5 Server Basic SAS	1990	1990
2	Torre de hierro galvanizado de 10 metros	1500	3000
1	Torre de hierro galvanizado de 15 metros	2250	2250
3	Sistema de pararrayos con el cabezal tipo franklin	1500	4500
2	Ups Tripp-lite 1.5 Kva	300	600
1	Ups Online 3KVA	750	750
2	Caja para equipos en Radio Bases	150	300
2	Desktop	500	1000
2	Laptop	700	1400
1	Impresora	300	300
1	Rack de Piso 1720*600*800mm	630	630
TOTAL			242467

Los costos de los equipos se obtuvieron visitando páginas de diferentes empresas que ofertan estos productos, esto costos incluyen el IVA.

#### 5.4.2. Costos en Mobiliario

La oficina desde donde se administrará la empresa está en el mismo edificio del Nodo principal, espacio que ya se tiene gestionado.

Para el trabajo se requiere mobiliario de oficina, para el desarrollo de las actividades tendientes al brindar la comodidad de los empleados y de los clientes, para lo cual se consideró la adquisición de escritorios, estaciones de trabajo y sillas, el detalle se muestra en la Tabla 20.

**Tabla 20. Mobiliario de Oficina**

Mobiliario de la Oficina			
Cantidad	Detalle	Costo Unitario	Costo Total
2	Escritorio	150	300
2	Estaciones de trabajo	200	400
8	Sillas	35	280
		Total	980

### **5.4.3. Costo de título habilitante para acceso a internet**

Acceso Internet es el servicio que permite la provisión del acceso a la red mundial Internet, por medio de plataformas y redes de acceso implementadas para tal fin.

Según la Resolución 04-03-ARCOTEL-2016 de la Arcotel los derechos a pagar por la obtención del título habilitante son de 500 dólares Americanos.

Por la explotación del uso de frecuencias se debe pagar un valor mensual de 28 dólares por los enlaces Backhaul y 32 dólares por la red de acceso.

Costo de Acceso a Internet por medio de Telconet, también se tiene otros proveedores que brindan servicio a la Ciudad de Latacunga, entre ellos se tiene a CNT, Puntonet, Porta, Movistar, pero por las características de la empresa Telconet se eligió a este proveedor.

Se solicitó una cotización para el servicio a CNT por más de un mes pero no se tuvo respuesta, por lo que se descartó esta opción.

Para el Acceso a internet se contratará a TELCONET la cual brindará conexión a través de sus redes avanzadas con una alta velocidad de conexión al NAP en Ecuador y NAP internacional y a los proveedores principales TIR 1 en los Estados Unidos y ofrece muchos servicios asegurando un óptimo performance de altos estándares internacionales, el valor mensual a pagar es de 990 dólares.

#### 5.4.4. Costos de Operación

En la tabla 21 se describen los costos mensuales y anuales que se necesitan para mantener operativo el proyecto.

**Tabla 21.** Costos de Operación

Cantidad	Descripción	Valor Mensual	Valor Anual
1	Administrador	600	7200
1	Técnico	450	5400
1	Secretaria	375	4500
1	Proveedor de Internet	990	11880
1	Uso de Frecuencia	60	720
3	Arriendos	300	3600
1	Servicios Básicos	80	960
		2855	34260

Para el pago de salario se tomó en cuenta la oferta laboral, el sueldo básico y las funciones a desempeñar.

En la siguiente tabla se muestra la inversión total inicial para el funcionamiento del ISP, en la que se toman en cuenta el Valor total de equipamiento, los costos de inmobiliario y los permisos de operación.

**Tabla 22.** Valor total de inversión

Valor total de inversión	
Descripción	Valor
Equipamiento	242467
Mobiliario	980
Permisos	500
	243947

#### 5.4.5. Ingresos por planes de servicio

Para proveer el servicio de internet se diseñaron 3 tipos de planes, el estándar, el Premium y el VIP, para los diferentes tipos de clientes que existen en el mercado, los planes que se deberán cancelar de forma mensual se detallan en la tabla 23.

**Tabla 23.** Ingresos planes de usuario

TIPO DE PLAN	COSTO DE PLAN (\$)
ESTANDAR	25
PREMIUM	35
VIP	50

Para fijar los costos en los planes, se tomó en cuenta los resultados de la pregunta 6 de la encuesta, además se consideró los costos referenciales del mercado.

El cliente deberá contratar la suscripción mínimo por 6 meses. Se indicará en el contrato también que el equipo del suscriptor o usuario es en préstamo hasta que se cancele o se termine el contrato, terminado este se tendrá que devolver el equipo al proveedor del servicio.

#### **5.4.6. Ingresos Anuales**

A continuación se presentan los ingresos en cada uno de los cinco años los cinco años que contempla el proyecto.

- INGRESOS AÑO 1**

**Tabla 24.** Ingresos por planes año1

INGRESOS POR PLANES AÑO 1				
DETALLE PLAN	NÚMERO DE CLIENTES	PRECIO	INGRESO MENSUAL	INGRESO ANUAL
ESTÁNDAR	272	25	6800	81600
PREMIUM	97	35	3395	40740
VIP	19	50	950	11400
TOTAL (USD)			11145	133740

TOTAL INGRESOS AÑO 1 = 133740

- **INGRESOS AÑO 2**

**Tabla 25.** Ingresos por planes año 2

INGRESOS POR PLANES AÑO 2				
DETALLE PLAN	NÚMERO DE CLIENTES	PRECIO	INGRESO MENSUAL	INGRESO ANUAL
ESTÁNDAR	286	25	7150	85800
PREMIUM	102	35	3570	42840
VIP	21	50	1050	12600
TOTAL (USD)			11770	141240

TOTAL INGRESOS AÑO 2 = 141240

- **INGRESOS AÑO 3**

**Tabla 26.** Ingresos por planes año 3

INGRESOS POR PLANES AÑO 3				
DETALLE PLAN	NÚMERO DE CLIENTES	PRECIO	INGRESO MENSUAL	INGRESO ANUAL
ESTÁNDAR	299	25	7475	89700
PREMIUM	107	35	3745	44940
VIP	21	50	1050	12600
TOTAL (USD)			12270	147240

TOTAL INGRESOS AÑO 3 = 147240

- **INGRESOS AÑO 4**

**Tabla 27.** Ingresos por planes año 4

INGRESOS POR PLANES AÑO 4				
DETALLE PLAN	NÚMERO DE CLIENTES	PRECIO	INGRESO MENSUAL	INGRESO ANUAL
ESTÁNDAR	309	25	7725	92700
PREMIUM	111	35	3885	46620
VIP	22	50	1100	13200
TOTAL (USD)			12710	152520

TOTAL DE INGRESOS AÑO 4 = 152520

- **INGRESOS AÑO 5**

**Tabla 28.** Ingresos por planes año 5

INGRESOS POR PLANES AÑO 5				
DETALLE PLAN	NÚMERO DE CLIENTES	PRECIO	INGRESO MENSUAL	INGRESO ANUAL
ESTÁNDAR	324	25	8100	97200
PREMIUM	116	35	4060	48720
VIP	23	50	1150	13800
		<b>TOTAL (USD)</b>	<b>13310</b>	<b>159720</b>

TOTAL DE INGRESOS AÑO 5 = 159720

#### 5.4.7. Flujo neto de efectivo

En la tabla 29 se muestra el Flujo neto de efectivo en los cinco años, en donde se presentan los ingresos totales en cada año y los costos de operación.

**Tabla 29.** Flujo neto de efectivo

DESCRIPCIÓN	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESOS TOTALES	133740	141240	147240	152520	159720
GASTO OPERACIÓN	34260	34260	34260	34260	34260
GANANCIA	99480	106980	112980	118260	125460

#### 5.4.8. Cálculo del VAN, TIR, (B/C) y el PRI

En un proyecto empresarial es vital importancia conocer si es viable y esto se lo conoce por su rentabilidad. Para formar una empresa se debe realizar una inversión inicial importante, y de esa inversión se espera tener una rentabilidad al pasar los años. La rentabilidad obtenida tiene que ser mayor a la que podría alcanzar si la inversión se la realiza en depósitos en entidades financieras solventes. Si el proyecto no es económica mente viable, el capital se lo deberá invertir en el mencionado producto financiero, de esta manera se evitara pérdida de tiempo y esfuerzo para levantar el proyecto.

Los indicadores más empleados para determinar la viabilidad de un proyecto son el VAN (Valor Actual Neto), el TIR (Tasa Interna de Retorno), (B/C) Relación Beneficio Costo y el



PRI (Período de Retorno de la Inversión), estos indicadores permiten saber si conviene seguir o no con la inversión realizada.[43]

**El valor actual neto (VAN)**, es un indicador financiero que sirve para determinar la viabilidad económica de un proyecto. Si tras medir los flujos de los futuros ingresos y egresos y descontar la inversión inicial queda alguna ganancia, el proyecto es viable.

Este indicador también permite al momento de vender un proyecto o negocio, determinar si el precio ofrecido está por encima o por debajo de lo que se ganaría en caso de no venderlo.[44]

El VAN se calcula con la siguiente ecuación:[45]

Ecuación 4 [45]

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

En donde:

$V_t$  Representa los flujos de caja en cada período  $t$

$I_0$  Es el valor de desembolso de la inversión inicial

$N$  número de períodos considerado

$K$  es la tasa de descuento

El valor del VAN tiene la siguiente interpretación:

$VAN < 0$  el proyecto no es rentable.

$VAN = 0$  el proyecto es indiferente realizarlo.

$VAN > 0$  el proyecto es rentable.

El valor de la tasa de interés activa para PYMES que es de 11.83% para agosto del 2017, este valor se reemplaza en la fórmula.[46]

Reemplazando los valores en la ecuación para el cálculo del VAN se tiene:

$$VAN = \frac{99480}{(1 + 0.1183)} + \frac{106980}{(1 + 0.1183)^2} + \frac{112980}{(1 + 0.1183)^3} + \frac{118260}{(1 + 0.1183)^4} + \frac{125460}{(1 + 0.1183)^5} - 243947$$

$$VAN = 158688.38$$

Es este caso el  $VAN > 0$  el proyecto es rentable, es decir se puede ejecutar el proyecto.

**La tasa interna de retorno TIR**, es la tasa de interés o el indicador de rentabilidad que se obtiene de una inversión, es decir, es el porcentaje de ganancia o pérdida.

El TIR es utilizado en la evaluación de proyectos de inversión y que está vinculado con el Valor Actual Neto (VAN). Se lo define como el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero.

La tasa interna de retorno (TIR) se expresa en porcentaje ya que es una medida relativa de la rentabilidad de un proyecto, el cálculo del TIR tiene un cierto grado de dificultad, pues el número de períodos dará el orden de la ecuación a resolver. Para facilitar la resolución de la ecuación se pueden acudir a diferentes herramientas como calculadoras financieras o también hojas de cálculo.[48]

El TIR se calcula con la siguiente ecuación.

Ecuación 5 [48]

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1 + TIR)} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n} = 0$$

En donde se tiene:

$F_t$  Flujos de dinero en cada período  $t$

$I_0$  es la inversión que se realiza en el momento inicial  $t=0$

$n$  es el número de períodos de tiempo

$k$  es la tasa de descuento

El TIR tiene la siguiente interpretación

Si  $TIR > k$  ES RENTABLE hacer negocio

Si  $TIR = k$  ES INDIFERENTE hacer negocio

Si  $TIR < k$  NO ES RENTABLE hacer negocio

Reemplazando la ecuación se obtiene:

$$0 = \frac{99480}{(1 + TIR)} + \frac{106980}{(1 + TIR)^2} + \frac{112980}{(1 + TIR)^3} + \frac{118260}{(1 + TIR)^4} + \frac{125460}{(1 + TIR)^5} - 243947$$

Calculado el TIR con Excel se obtiene que es el 35% y es mayor que k que es la tasa de descuento e igual al 11,83%, entonces se concluye que es rentable la ejecución de este proyecto.

**Relación Beneficio Costo (B/C)**, Hace una comparación directa entre los beneficios y costos, para calcular la relación (B/C), se obtiene la suma de los beneficios descontados, traídos al presente, y se divide para la suma de los costos también descotados.

Para tener una conclusión acerca de la viabilidad de un proyecto la relación beneficio costo se debe comparar con 1, así se obtiene lo siguiente:

$B/C > 1$  quiere decir que los beneficios superan los costos, por lo tanto el proyecto es viable.

$B/C = 1$  quiere decir que no hay ganancias, pues los beneficios son igual a los costos.

$B/C < 1$  quiere decir que los costos son mayores que los beneficios, el proyecto no es viable.

Para calcular la relación Beneficio costo, se tiene la siguiente fórmula:

Ecuación 6 [49]

$$B/C = \frac{\sum_1^n VAN_n}{INVERSION\ INICIAL}$$

En donde:

B/C : Relación Beneficio versus Costo

VAN: Valor Actual Neto

n: Período a evaluar

Desarrollando los cálculos con la ayuda de Excel, se obtienen los siguientes resultados:

$$(B/C) = \frac{402630.50}{243947}$$

$$(B/C) = 1.6504$$

Del resultado obtenido para la relación Beneficio Costo se puede concluir que el proyecto es viable.[49]

**Período de Recuperación de la inversión PRI**, es el tiempo requerido para que la empresa recupere su inversión inicial en un proyecto, calculado a partir de las entradas de efectivo.

El PRI mide la liquidez de un proyecto y el riesgo relativo, por lo que se puede anticipar los eventos que se darán a corto plazo, para el cálculo del PRI se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 7 [50]

$$PRI = a + \frac{(b - c)}{d}$$

En donde:

a = Año inmediato anterior en que se recupera la inversión.

b = inversión inicial.

c = flujo de efectivo acumulado del año inmediatamente anterior en que se recupera la inversión.

d = flujo de efectivo del año que se recupera la inversión.

En la Tabla 30 se puede observar el flujo de efectivo y el período de recuperación para los 5 años.

**Tabla 30.** Flujo de efectivo

Año	Flujos de Efectivo	Período de Recuperación
0	-243947	-243947
1	99480	-144467
2	106980	-37487
3	112980	75493
4	118260	193753
5	125460	319213

Aplicando la ecuación, se tiene:

$$PRI = 2 + \frac{(243947 - 206460)}{112980}$$

$$PRI = 2.331$$

Entonces el PRI es de 2 años 3 meses y 29 días.

A nivel general se pueden establecer tiempos medios de recuperación por sectores de actividad, en el sector de los servicios es de dos años, como se puede observar, el PRI está dentro de ese tiempo.[50]

Una vez que se ha calculado los valores del VAN, TIR, (B/C) y el PRI se puede concluir que el proyecto es viable.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. CONCLUSIONES**

- Para la implementación en WIMAX se definió la operación en bandas libres para evitar los pagos para adquirir una banda licenciada, lo cual incrementaría los costos de implementación.
- El estudio de mercado fue fundamental para establecer la demanda que tendrá el proyecto, la proyección de los resultados permitió dimensionar el equipamiento de las redes Backhaul y de distribución para satisfacer el crecimiento del negocio proyectado a cinco años, especialmente para la demanda futura de ancho de banda.
- La utilización de la herramienta Radio Mobile fue muy importante a la hora de realizar los enlaces para verificar su factibilidad técnica, ingresando a este software las especificaciones técnicas de los equipos a utilizar.
- El diseño de la red fue desarrollada de forma simple y sencilla de manera que en el futuro se puedan incrementar radio bases ya sea para aumentar la zona de cobertura o el número de usuarios a servir.
- Con el objetivo de cumplir con la demanda proyectada se establecieron tres radio bases en la red de acceso las cuales permiten dar cobertura a la zona delimitada para este proyecto.
- Los tiempos de instalación de la infraestructura física, mantenimiento y operación de la red WIMAX son menores que una red cableada, lo cual le da una ventaja competitiva, traduciéndose esto en mayores ganancias.
- El análisis económico indicó que invertir en el proyecto es rentable pues los parámetros analizados, tanto el VAN, TIR, (B/C) y PRI fueron positivos, lo cual hace viable el proyecto.
- En este diseño se utilizaron equipos Airspan, que cumplen con los requisitos para el funcionamiento de la red.
- Este proyecto proveerá servicio de internet inalámbrico al casco urbano de la ciudad de Latacunga a precios asequibles para los clientes.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

- Para la selección de equipos en el diseño de la red WIMAX, se debe tomar en cuenta que el fabricante sea miembro de WIMAX Forum, ya que de esta manera se puede garantizar la interoperabilidad de los equipos con otros fabricantes.
- Para la simulación de los radio enlaces se recomienda utilizar Radio Mobile debido a que es un programa de simulación gratuito y fácil de manejar, que permite simular radio enlaces y presentar el área de cobertura de la red, opera dentro del rango de frecuencias de 20 MHz a 20 GHz, por lo que se utilizó para el proyecto que se diseñó dentro de ese rango.
- Los lugares escogidos para las Radio Bases deben prestar las facilidades para la instalación de la infraestructura y equipos de esta manera se reducirán costos.
- Se recomienda instalar equipos de respaldo y protección tanto en los enlaces como en los equipos y de esta manera garantizar la disponibilidad de servicio para los clientes.
- Se recomienda cumplir con las normas y parámetros determinados por los organismos de control para el correcto funcionamiento del proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2555/1/tm4320.pdf>, Tesis, Santiago Baculima, Universidad de Cuenca.
- [2] <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/gl/equipamiento-tecnologico/redes/349-andres-lamelas-torrijos>
- [3] <https://www.slideshare.net/VctorJulioMartnezBar/wimax-vs-wifi>
- [4] <https://sx-de-tx.wikispaces.com/WIMAX>
- [5] <http://xiboard.com.ve/enlaces-inalambricos-punto-a-punto-y-punto-multipunto/>
- [6] [https://es.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.16](https://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.16)
- [7] <http://www.ibersystems.es/blogredesinalambricas/802-16-wimax/>
- [8] <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11677/fichero/Volumen+1%252F3.-WiMAX.pdf>
- [9] <http://redyseguridad.fi-p.unam.mx/proyectos/Wi/index.html/wimax/estandares/estandares.html>
- [10] [http://oa.upm.es/2697/2/BERROCAL\\_LIBRO\\_2009\\_01.pdf](http://oa.upm.es/2697/2/BERROCAL_LIBRO_2009_01.pdf)
- [11] <http://ieeexplore.ieee.org/document/7603486/>
- [12] <http://ieeexplore.ieee.org/document/6327306/>
- [13] <http://ieeexplore.ieee.org/document/7063199/>
- [14] Libro, Redes Inalámbricas de Héctor H. Delgado Ortiz, Editorial Macro, 2009, página 268
- [15] [http://www.rosalesuriona.com/spip.php?article65&debut\\_articles=140](http://www.rosalesuriona.com/spip.php?article65&debut_articles=140)
- [16] <http://www.spw.cl/proyectos/apuntes/cap2.htm>
- [17] <https://docs.google.com/document/d/1gSe5BHgKx3fQLYoE4kqcbnQU5SChoM3qF7BS7Zfnkec/edit?pli=1>
- [18] <http://www.spw.cl/proyectos/apuntes/cap2.htm>
- [19] <https://es.slideshare.net/MadelynSaidy/clase-poblacin-muestra-y-muestreo>
- [20] <http://sni.gob.ec/proyecciones-y-estudios-demograficos>
- [21] [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/FICHAS%20F/0501\\_LATACUNGA\\_COTOPAXI.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/FICHAS%20F/0501_LATACUNGA_COTOPAXI.pdf)



- [22] <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/98>, Tesis, Carla Nathali Solano Rivadeneira, “Diseño de un ISP utilizando la tecnología WIMAX como red de acceso, en la ciudad de Ambato y las Zonas Rurales Santa Rosa y Quizapincha”, ESPE, 2007.
- [23] <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/648>, Tesis, Tania Elizabeth Cruz Basantes, “Análisis de mercado e implementación de servicios convergentes para un ISP en la ciudad de Guaranda con la empresa Fast Net”, UNACH, 2014.
- [24] <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-acceso-internet/>
- [25] <http://www.radiocomunicaciones.net/pdf/radioenlaces/disenio-basico-radioenlace.pdf>
- [26] <http://www.alvarion.com/breezeaccess/breezeaccess-vl/>
- [27] <http://www.albentia.com/productos/LINK>
- [28] <http://www.airspan.com/>
- [29] <http://winncom.ru/wp/wp-content/uploads/MicroMAX-datasheet.pdf>
- [30] [ftp://62.77.85.103/airspan/Release\\_4.6/Documentation/ASWipLL%20HW%20Installation%20Guide-V07-460.pdf](ftp://62.77.85.103/airspan/Release_4.6/Documentation/ASWipLL%20HW%20Installation%20Guide-V07-460.pdf)
- [31] <http://www.fujitsu.com/downloads/TEL/fnc/datasheets/ASMAX.pdf>
- [32] <http://www.tp-link.com/ar/products/details/TL-WR941ND.html>
- [33] <https://fccid.io/PIDMMAX58/Users-Manual/Users-Manual-Revised-703575>
- [34] [https://fccid.io/ANATEL/03085-12-08403/Manual-do-Produto\\_FlexNET-ASN-700/7EB5C895-8728-4DFB-BB42-E7D4BD5ED792/PDF](https://fccid.io/ANATEL/03085-12-08403/Manual-do-Produto_FlexNET-ASN-700/7EB5C895-8728-4DFB-BB42-E7D4BD5ED792/PDF)
- [35] <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1857?mode=full>, Tesis “Estudio De Factibilidad De Red De Backhaul Y Acceso Para Proveer Servicios De Internet Inalámbrico (Wips) En La Ciudad De Ibarra Con Tecnología Wimax” Universidad Técnica del Norte, Narvaez Erazo, Luis David,
- [36] <https://mikrotik.com/product/CCR1036-8G-2SplusEM>
- [37] <https://www.cisco.com/c/en/us/products/switches/catalyst-4500-series-switches/index.html>
- [38] <https://www.hpe.com/h20195/v2/default.aspx?cc=vn&lc=en&oid=4177882>
- [39] <https://www.amazon.es/MikroTik-RouterBoard-Puertos-Gestionado-Luministro/dp/B072Q99GDL>

- [40] <https://www.hpe.com/es/es/product-catalog/servers/proliant-servers/pip.hpe-proliant-dl160-gen9-server.7252816.html>
- [41] <https://under-linux.org/showthread.php?t=118846>
- [42] <http://www.arcotel.gob.ec/requisitos-acceso-a-internet/>
- [43] <https://www.elblogsalmon.com/conceptos-de-economia/que-son-el-van-y-el-tir>
- [44] <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/fundamentos-financieros-el-valor-actual-neto-van/>
- [45] [https://prezi.com/dltb5po1\\_btz/analisis-pri-van-tir/](https://prezi.com/dltb5po1_btz/analisis-pri-van-tir/)
- [46] <https://contenido.bce.fin.ec/docs.php?path=/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>
- [47] <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/fundamentos-financieros-el-valor-actual-neto-van/>
- [48] <http://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>
- [49] <https://www.gestiopolis.com/calculo-de-la-relacion-beneficio-coste/>
- [50] <https://generacionproyectos.wordpress.com/2011/11/30/6-3-1-1-periodo-de-recuperacion-de-la-inversion/>